in omaggio

Estratto dal Periodico
L'INGEGNERIA CIVILE E LE ARTI INDUSTRIALI
VOLUME XXVI

G. SACHERI

ESPOSIZIONE UNIVERSALE DEL 1900 A PARIGI

IL

PONTE ALESSANDRO III SULLA SENNA

Con 2 tavole e 14 figure nel testo

TORINO
TIP. LIT. CAMILLA E BERTOLERO DI N. BERTOLERO
EDITORE
Via Ospedale, N. 18
1900.

Estratto dal Periodico
L'INGEGNERIA CIVILE E LE ARTI INDUSTRIALI
VOLUME XXVI

G. SACHERI

ESPOSIZIONE UNIVERSALE DEL 1900 A PARIGI

IL

PONTE ALESSANDRO III SULLA SENNA

Con 2 tavole e 14 figure nel testo

TORINO
TIP. LIT. CAMILLA E BERTOLERO DI N. BERTOLERO
EDITORE
Via Ospedale, N. 18

1900.

PROVINCIA DI TORINO
BIBLIOTECA

---

*È interdetta la riproduzione e la traduzione delle Memorie pubblicate nell'*Ingegneria Civile.

L'Editore.

PARTE I.

Nozioni generali.

Cenno storico dell'idea. — L'idea di attraversare la Senna nel punto in cui è stato costruito il ponte Alessandro III non data soltanto dai primordi dei preparativi per il piano dell'attuale Esposizione, e dai bisogni della medesima, come i lettori potrebbero credere dalla semplice ispezione della pianta generale dell'Esposizione e dalla nostra Memoria descrittiva precedente, ma è un'idea molto antica.

Invero quando nel 1823 il Navier, in seguito ad una missione di studio sui ponti sospesi in Inghilterra, presentava al Consiglio generale di ponti e strade il progetto di un ponte sospeso del genere che era in voga a quel tempo, la Relazione che in massima approvava il disegno, ricordava già numerosi progetti in diverse epoche presentati per riunire i Campi Elisi alla spianata degli Invalidi sull'asse di quest'ultima, facendo notare che se il ponte a quell'epoca non esisteva ancora, doveva cercarsene il motivo nelle difficoltà inerenti a quella località, e negli inconvenienti che i diversi progetti presentavano. Non volevasi recare ostacoli nè al corso delle acque nè alla navigazione; non volevansi interrotte le visuali, nè deturpata la bellezza incantevole di quella località che era principalmente l'oggetto dell'ammirazione del pubblico.

Parve allora avrebbe piaciuto l'arditezza di un ponte aereo sospeso a gomene e tiranti di ferro, ed il progetto del Navier, opportunamente perfezionato nel marzo 1824, veniva dato in appalto il 7 luglio. I lavori durarono due anni;

ma all'atto di porre le gomene in tensione e di costrurre il tavolato, ebbe a verificarsi un cedimento pregiudizievole nelle murature della sponda destra, a cui avrebbesi potuto facilmente, sebbene con qualche notevole aumento di spesa, riparare. Senonchè il Consiglio municipale della città di Parigi ne prese occasione per accumulare obbiezioni ad obbiezioni contro l'opera stessa, la quale obbligava ad attraversare con una via il grande quadrato dei Campi Elisi, e specialmente contro le colonne di sostegno delle gomene, le quali mascheravano la facciata dell'*Hôtel* degli Invalidi. E il Governo rinunziava al ponte degli Invalidi, sebbene le spese per la demolizione ed il diverso impiego dei materiali superassero di assai la somma che prevedevasi necessaria al consolidamento dei sostegni del ponte.

*

Nel 1829 veniva eretto un ponte sospeso, 200 metri più a valle, sull'asse del viale d'Antin; che fu poi trasformato nel 1854 in un ponte in muratura, l'attuale ponte degli Invalidi.

Il palazzo dell'Industria venne poi in occasione dell'Esposizione del 1855 ad elevarsi nei Campi Elisi trasversalmente all'asse della spianata degli Invalidi, onde qualsiasi idea di attraversare in quel punto la Senna perdeva per molti anni ogni scopo pratico.

In questi ultimi tempi l'ingombro sempre crescente della circolazione sul ponte della Concordia, e la costruzione nel 1893 della stazione ferroviaria della Compagnia dell'Ovest, *la gare des Invalides*, avendo fatto sentire maggiormente la necessità di una nuova attraversata della Senna in quelle vicinanze, erasi proposto di gettare un ponte sul prolungamento dell'asse della via di Constantine, nello scopo di venire a sboccare lungo la facciata Est del palazzo dell'Industria.

Ma la scelta della località e lo studio del piano generale dell'Esposizione del 1900 avendo condotto, come abbiamo veduto, alla demolizione del palazzo dell'Industria, ed all'apertura di una grande *avenue* tra i Campi Elisi e la spianata degli Invalidi, verificandosi così per le idee, ciò che Orazio prediceva dei vocaboli: *multa renascentur quae jam*

cecidere, il progetto del ponte di Constantine veniva ad essere abbandonato, e nel programma dei lavori della nuova Esposizione veniva necessariamente ad essere compresa la costruzione di un nuovo ponte attraverso la Senna, di carattere monumentale, e che rispondesse non solo ad uno scopo di comodità, ma a quello eminentemente decorativo, a cui era chiamato dalla località stessa e dalla grande occasione di trovarsi nel recinto della grande Esposizione.

Ed eccoci quindi ritornati all'idea antica, proseguita dal Navier, ed alle difficoltà di ordine estetico che essa aveva fin d'allora incontrato, non meno che a quelle di ordine tecnico notevolmente accresciute dallo sviluppo ben più considerevole della navigazione sotto il ponte, e dalla maggior larghezza che dovevasi dare al ponte per le nuove condizioni nelle quali l'opera stessa veniva ad essere creata.

Gl'ingegneri Résal ed Alby (1) che avevano terminato allora di occuparsi della costruzione del ponte Mirabeau, furono incaricati di studiare, d'accordo col Servizio della navigazione, le condizioni del nuovo ponte.

Il progetto doveva ottenere l'approvazione del Ministero dei Lavori Pubblici per tutto ciò che riguardava le condizioni tecniche della costruzione, e quella del Commissario gene-

---

(1) *Jean Résal*, Ingegnere-Capo di Ponti e Strade, nato nel 1854 — figlio dell'illustre Résal, membro dell'*Institut* e che professò meccanica nella Scuola politecnica — si laureò Ingegnere nel 1874, e percorse rapidamente la sua carriera nel Corpo di Ponti e Strade, essendone Ingegnere-Capo dal 1882. Da Nantes, ov'ebbe la sua prima residenza, chiamato a Parigi nel 1889, ebbe, tra gli altri servizî, ad occuparsi della direzione dei lavori di costruzione del ponte Mirabeau. Nel 1897 fu pure nominato Ingegnere in capo di tutte le costruzioni metalliche dell'Esposizione. Dal 1893 egli è professore alla Scuola di Ponti e Strade, e le sue lezioni sono assai apprezzate, come quelle che alle cognizioni teoriche profonde uniscono gli accorgimenti dell'esperienza e della pratica professionale.

Amédée Alby, Ingegnere di Ponti e Strade dal 1885, e collaboratore di Résal, nato nel 1862, dopo essersi distinto a Clermont nei lavori di correzione del corso dell'Oise, fu chiamato a Parigi, particolarmente addetto al servizio della navigazione della Senna, ed ebbe pure a studiare il progetto del Ponte di Constantine. Aggiunto all'ing. Résal per lo studio del progetto del Ponte Alessandro e dei ponti e passerelle per l'Esposizione, si occupò dell'esecuzione di tutti i lavori del Ponte Alessandro, compresi pure i lavori di fondazione coll'aria compressa e la costruzione delle murature di sopraelevazione.

rale dell'Esposizione, essendosi anzi prestabilito che gli architetti della medesima avrebbero collaborato per la decorazione.

Gli studi incominciarono nel 1895 e nel dicembre di quell'anno le prime linee di progetto erano presentate all'esame del Commissariato generale dell'Esposizione. Il Consiglio generale di ponti e strade incominciò ad occuparsene nel giugno 1896, dopo l'approvazione data dal Parlamento al progetto di legge che autorizzava l'esecuzione dei lavori dell'Esposizione universale.

I progetti definitivi furono approvati il 20 gennaio 1897 per le fondazioni, ed il 13 luglio 1897 per la soprastruttura metallica. Altri progetti complementari furono successivamente approvati per le murature di sopraelevazione e per gli accessi.

La parte decorativa veniva affidata, come i lettori sanno, agli architetti Cassien Bernard e Cousin, a tale ufficio designati dalla Direzione dei servizi di architettura dell'Esposizione, e non fu definitivamente approvata dal Ministero che il 3 gennaio 1898.

*

Dati essenziali del problema. — Le discussioni per stabilire i dati principali per lo studio del progetto del ponte Alessandro III non furono nè poche, nè facili. Nella mente di coloro che avevano concepito il programma dell'Esposizione, il ponte doveva essere un'opera di carattere essenzialmente decorativo e monumentale, tale da permettere la prospettiva dell'Hôtel degli Invalidi, veduta dai Campi Elisi, da non impedire la prospettiva della Senna, veduta dal ponte della Concordia, e da presentare una larghezza che stesse in proporzione con quella di 100 metri della nuova *avenue* Nicolas II che, partendo dai Campi Elisi, doveva condurre alla spianata degli Invalidi.

D'altra parte, il ponte Alessandro III veniva a trovarsi a valle di una risvolta che ha per effetto di portare la corrente contro la sponda destra, ed a monte del ponte degli Invalidi, a così poca distanza dal medesimo, che i convogli di navigazione si trovano simultaneamente sotto i due ponti. Onde, il servizio della Marina non potendo rinunziare ai treni navali, per i quali il Governo ha fatto gravi sa-

crifizi, poneva la condizione assoluta che il ponte Alessandro III non avesse pile nell'alveo, e pretendeva altresì si fosse tenuto conto nell'altimetria dell'opera, della necessità per i convogli discendenti di avvicinarsi alla sponda destra per infilare convenientemente il ponte degli Invalidi sotto l'arcata di destra.

Le quali ultime condizioni erano evidentemente inconciliabili colle prime, poichè esigevano un ponte col tavolato orizzontale e l'ossatura metallica al disopra del medesimo. Nè mancarono studi e progetti intesi a soddisfare completamente queste condizioni del servizio di navigazione; parecchi ricorsero perfino ad un'arcata dissimmetrica. Ma nessuna proposta potè venire accettata dal punto di vista dell'estetica.

Un ponte ad una sola arcata, tenuta al livello il più elevato possibile compatibilmente colle esigenze prospettiche della viabilità sopra il medesimo, era dunque la sola soluzione accettabile che meno si allontanasse dai desideri dell'Amministrazione della Marina. D'altronde nel caso particolare le considerazioni d'ordine estetico dovevano evidentemente ricevere una soddisfazione più completa a preferenza di quelle di ordine puramente tecnico. A peggio andare gli inconvenienti della nuova situazione per la navigazione non erano irrimediabili, e dato che l'esperienza ne provasse la necessità, potrà sempre rifarsi il ponte degli Invalidi, facendone sparire la pila centrale.

Il livello della carreggiata del ponte fu stabilito in modo che la visuale di chi si trovasse sull'asse dell'*avenue* dei Campi Elisi, sfiorando la sommità del ponte potesse lambire la base dell'*Hôtel des Invalides*. A questo dato fondamentale si subordinarono tutti gli altri dati del progetto.

Dimensioni principali del ponte. — L'asse longitudinale del ponte, che è quello della nuova *avenue*, fa coll'asse della via di navigazione un angolo che poco differisce dall'angolo retto, essendo di 83° 38′.

La distanza tra i parapetti dei due *quais* è di 155 metri, ma il letto della Senna non occupa che la parte centrale, lasciando a destra e sinistra due basse banchine (*basse-ports*)

di m. 22,50 di larghezza ciascuna. Le spalle del ponte sporgono di 50 centimetri circa dal muro di sostegno di dette banchine; ossia il ponte, misurato lungo il suo asse, ha la portata di 109 metri fra vivo e vivo delle due spalle.

L'arcata è del tipo a tre articolazioni o cerniere, ed a motivo di un po' di aggetto, dal vivo delle spalle, dei cuscinetti, i centri delle articolazioni all'imposta si trovano alla distanza di m. 107,50.

La parte di viadotto col quale si attraversa la bassa banchina consta (fig. 1 e 6, Tav. II) di una prima luce che funge da cavalcavia ad una strada di servizio lungo il *quai*, e di due altre le quali fanno parte della massa murale di decorazione che si protrae lungo il *quai*. Per ultimo, dietro la linea del *quai* una trincea coperta rasenta la spalla del ponte per dar passaggio alle deviazioni provvisorie delle strade pubbliche per tutta la durata dell'Esposizione.

La larghezza del ponte (fig. 5, Tav. I), misurata normalmente all'asse, è di 40 metri tra i parapetti e si divide in una carreggiata centrale di 20 metri, e due marciapiedi laterali di m. 10 caduno. Negli accessi al ponte questi marciapiedi contornando le masse decorative formanti terrazzo, prendono ad allargarsi per ricevere dalle due parti le scale di discesa alle basse banchine.

Il profilo longitudinale secondo l'asse del ponte è costituito da due livellette in senso opposto, con pendenza del 2 per cento, raccordate per 32 metri in sommità da un arco di cerchio di 800 metri di raggio. Nel senso trasversale il profilo parabolico della carreggiata presenta una convessità totale di cent. 20, ossia appena il centesimo della larghezza: esso presenta tuttavia presso i margini la declività del 4 per cento. La contropendenza dei marciapiedi non oltrepassa il 4 per cento.

La struttura metallica dell'arcata consta di 15 archi fra loro equidistanti.

L'arco dovendo essere estremamente ribassato, ed avere alla chiave un'altezza la più possibilmente ridotta, la condizione della triplice articolazione veniva naturalmente ad imporsi. Con ciò venivasi a diminuire notevolmente i momenti di flessione in prossimità della chiave, a poter far lavorare l'arco alla sola compressione, ed a renderne la stabi-

lità indipendente dalle variazioni della temperatura. Con ciò veniva praticamente assicurata la possibilità di comporre l'arco con cunei di acciaio fuso inchiavardati fra loro, e facendo a meno di ingombrare l'alveo del fiume con armature le quali ne avrebbero impedita per un'annata la navigazione.

L'impiego dell'acciaio fuso, da tempo adoperato dall'artiglieria e dalla marina, era pure il più indicato: la soppressione della chiodatura permette di ridurre al minimo lo spessore delle sezioni, e quindi il peso totale dell'arco. Inoltre i cunei d'acciaio fuso offrono migliori garanzie dal lato della resistenza all'ossidazione.

Essendo fissa la larghezza della luce, essendo fisso il livello del centro di articolazione dell'arco alla chiave, dovevasi necessariamente abbassare il più possibilmente l'altezza dei centri di articolazione all'imposta; e questa fu posta alla quota di m. 29,25 sul mare (fig. 1, Tav. I), mentre il livello del fiume allo stato normale è a m. 27, e la quota della massima piena (1876) fu di m. 31,65. Il centro di articolazione alla chiave essendo alla quota di m. 35,53, esso trovasi quindi a m. 6,83 sulle massime acque navigabili (m. 28,70) ed a m. 8,53 al disopra del livello normale del fiume.

La freccia dell'arco fra le articolazioni risulta così di m. 6,28, ossia l'arco è ribassato dell'1[17,12. Nel primo progetto di massima del 1895 la monta dell'arco non era che di 1[20; ma la spinta considerevolissima che ne risultava fu la preoccupazione costante degli autori del progetto, per la inquietudine che lasciava negli animi la poco buona qualità del suolo di fondazione.

Si ricordavano d'altronde gli accidenti toccati al ponte sospeso di Navier nel 1826, al ponte dell'Alma nel 1855, al ponte degli Invalidi a più riprese, ed ancora nel 1878.

Portando da 1[20 ad 1[17,12 la monta dell'arco, cercando di dare all'ossatura il minimo peso, riducendo pure al minimo il peso morto dell'impalcatura, ed impiegando il metallo ad un coefficiente di resistenza assai elevato, la spinta per metro di larghezza di ponte che nel primo progetto di massima era di 345 tonn. potè essere ridotta nel progetto definitivo a tonn. 288,3. In questa cifra la spinta dovuta al sovraccarico del ponte non è che di tonn. 83,5.

PARTE II.

Fondazioni e murature di elevazione delle spalle.

Natura del sottosuolo e stabilità delle fondazioni. — Nuove e più complete operazioni di saggio del terreno sulla destra e sinistra della Senna vennero ad aggiungere dati e risultati a quelli pur numerosi che già si conoscevano, e se ne concluse che potevasi fare assegnamento su di una resistenza del sottosuolo almeno uguale a quella presentata al ponte degli Invalidi.

Il sottosuolo consta di alluvioni recenti, di alluvioni antiche, e di strati di sabbie verdi, compatte ed abbastanza resistenti, per uno spessore di 8 metri sulla sponda destra, e di 5 metri sulla sponda sinistra, i quali strati di sabbia sostengono al ponte degli Invalidi delle pressioni valutate 5 kg. per centimetro quadrato.

Fu quindi riconosciuto che le fondazioni del ponte dovevano soddisfare a queste tre condizioni:

1° Venir limitate a profondità tale da mantenere ancora al disotto delle medesime e tra desse e lo strato delle argille uno spessore di sabbie sufficiente a prevenire un cedimento nel senso verticale;

2° Assegnare alla spalla un peso sufficiente perchè in virtù del solo attrito di scorrimento sulla base, essa potesse resistere alla spinta, senza che fosse d'uopo fare assegnamento sulla contro-spinta della terra;

3° Tenere la pressione sulle fondazioni al disotto di quella raggiunta dal ponte dell'Alma.

Per soddisfare a tutte queste condizioni si riunì il muro della bassa banchina al corpo della spalla, e si è posato il tutto su di un massiccio solo di fondazione che presenta in piano 44 metri di larghezza, nel senso perpendicolare alle fronti del ponte, per m. 33,50 di lunghezza o profondità, cioè nel senso dell'asse del ponte; e che ha l'altezza di 10 metri per una sponda e di 11 metri per l'altra.

Lo studio della stabilità della spalla ha condotto ai seguenti risultati:

Pressione sui blocchi granitici d'imposta 48 kg. per cq.;

Pressione trasmessa dai blocchi granitici alla muratura ordinaria 18 kg. per cq.;

Pressione verticale massima sulle fondazioni presso lo spigolo di rovesciamento 2,5 kg. per cq.

Rapporto della spinta al peso: < di 0,50 mentre il coefficiente d'attrito di scorrimento sulle sabbie è di 0,70.

*

Esecuzione dei lavori. — I lavori di fondazione del ponte Alessandro III furono aggiudicati il 25 febbraio 1897 ai signori Letellier e Boutrinquien, che hanno grande pratica di lavori ad aria compressa.

Lo studio e la costruzione dei cassoni si affidarono ai signori Daydé e Pillé, di Creil, ingegneri costruttori ai quali si deve l'esecuzione dei ponti Tolbiac e Mirabeau.

*

Particolari del cassone di fondazione. — Per la esecuzione dei massicci di fondazione delle due spalle, di cui sopra, si fece ricorso al sistema dell'aria compressa, per mezzo di un cassone solo per ogni spalla, costrutto sul posto ed affondato direttamente. La lunghezza di questo cassone è, come si disse, nel senso dell'asse del ponte, di m. 33,50; e la sua larghezza, cioè nel senso perpendicolare alle fronti del ponte, è di m. 44.

La struttura metallica del cassone è tutta di acciaio dolce, della qualità comunemente adoperata nella costruzione dei ponti (42 kg. di resistenza alla trazione, e 22 0[0 di allungamento per sbarre di 200 mm.).

La fig. 1 rappresenta una sezione della parete verticale contro acqua del cassone. Come dalla figura appare, le quattro pareti esterne del cassone propriamente detto, cioè senza le parti mobili superiori da aggiungersi a misura dell'affondamento, hanno l'altezza di m. 3,68; esse sono formate da lamiere aventi la medesima altezza del cassone e 6 mm. di spessore. La loro larghezza è di m. 1,20 epperò sono riunite da coprigiunti verticali di 140 × 6 con chiodatura a tenuta.

Il lembo inferiore di queste pareti è armato di un tagliente formato di un ferro ad angolo di 100 × 100 × 12

internamente, e di un ferro piatto di 250 × 18 esternamente.

La estremità superiore di queste pareti è in egual modo terminata da una membratura delle stesse dimensioni del

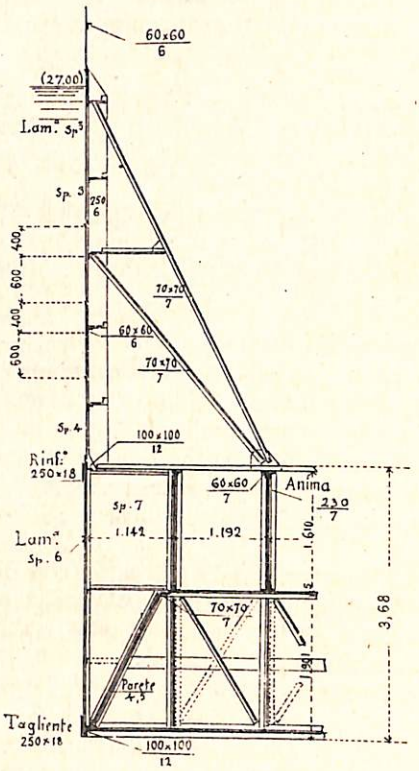


Fig. 1. — Sezione della parete verticale del cassone di fondazione.

tagliente inferiore, onde ogni parete verticale costituisce una vera trave di m. 3,68 di altezza. E per darle maggiore rigidità, esternamente, ad ogni m. 1,20, in corrispon-

denza dei coprigiunti verticali delle lamiere la parete è rinforzata da nervature composte di un piatto di 200 × 6 e da un ferro d'angolo di 70 × 70 × 8.

Il cassone propriamente detto è diviso nel senso dell'altezza da un soffitto orizzontale situato a m. 1,901 al disopra del tagliente, e separante la camera di lavoro dalla parte superiore. Questo soffitto è costituito da lamiere di 5 mm. di spessore raccomandate alla piattabanda inferiore di un sistema di travi a traliccio occupanti in altezza tutta l'altezza di m. 1,610 della parte superiore del cassone, e disposte parallelamente alla direzione del fiume alla distanza tra loro di m. 1,20. Questa travatura, oltre a dare la voluta rigidità al cielo della camera di lavoro, deve pure sopportare il massiccio di muratura, che è eseguito superiormente all'aria libera, fin tanto che l'affondamento totale del cassone sia compiuto e la camera di lavoro possa venire riempiuta di calcestruzzo.

Questa travatura che diremo superiore o longitudinale è inoltre sostenuta in quattro punti intermedi della sua lunghezza da un sistema di travi trasversali, alte come la camera di lavoro, e attraversanti la camera stessa in direzione perpendicolare al fiume, alla reciproca distanza di m. 9,60 tra asse ed asse. La camera di lavoro si trova così divisa in 5 scompartimenti (i tre di mezzo rettangolari, e i due estremi trapezoidali), i quali comunicano nondimeno fra loro, poichè nella parte centrale le pareti verticali di quelle travi sono a traliccio.

Stante le grandi dimensioni del cassone si è creduto necessario assicurare meglio il sostegno del medesimo venendo in aiuto ai taglienti delle pareti di perimetro, coll'armare pure di tali taglienti le pareti verticali delle travi trasversali interne anzidette, le quali pertanto riportano anche esse sul suolo, in una certa misura, la pressione prodotta dal peso del cassone e della muratura eseguita sopra il medesimo; nello stesso tempo rilegano fra loro le pareti esterne del cassone parallele al fiume, le quali distano fra loro di metri 33,50. Onde si può dire che a vece di un unico cassone, se ne abbiano cinque contigui e in tutto solidali, mentre il calcestruzzo che le dovrà riempire formerà un solo monolite.

Le pareti divisorie dei 5 scompartimenti della camera di lavoro, per la lunghezza di soli 9 metri a partire da ciascuna delle estremità, constano di un'anima piena di 7 mm. di spessore, rinforzata da montanti verticali a distanza di m. 1,20 tra loro e da diagonali, in ferri d'angolo di $70 \times 70 \times 7$ fissate direttamente alla parete. La parte centrale invece, mancando l'anima piena, è semplicemente costituita dai ferri d'angolo verticali ed inclinati.

Infine la parete verticale di perimetro del cassone è ancora consolidata al cielo o soffitto della camera di lavoro per mezzo di mensoloni distanti fra loro di m. 1,20 e quindi attaccati alla parete medesima in corrispondenza dei ferri verticali di rinforzo ai coprigiunti delle lamiere.

Alle nervature inclinate di queste mensole è fissata dalla parte interna una lamiera di mm. 4,5 di spessore, che va da una mensola all'altra e dal ferro d'angolo del tagliente inferiore alla lamiera del soffitto. La quale disposizione, che d'altronde non è più una novità, permette di riempire di calcestruzzo il vuoto prismatico compreso fra la parete esteriore e la lamiera inclinata, accrescendo considerevolmente la rigidità del cassone, e le garanzie di una perfetta ermeticità.

I cinque compartimenti della camera di lavoro comunicano ciascuno coll'esterno per mezzo di due camini. Sonvi quindi 10 aperture di 1 m. di diametro attraversanti il soffitto della camera di lavoro per dar passaggio ai dieci camini, muniti di scale per il personale, e di apparecchi per la discesa dei materiali, e per il sollevamento delle materie scavate.

Le alzate destinate a formare cassa al disopra del cassone propriamente detto, e ad aumentare di altezza a misura dell'approfondimento del cassone, sono lamiere dello spessore di mm. 4 per i primi m. 4,50 d'altezza, e superiormente di 3 mm. Queste alzate, come meglio appare dalla fig. 1, sono mantenute a loro posto da nervature verticali armate da puntoni costituiti di due ferri d'angolo obliqui e da una saetta orizzontale, nello scopo di opporsi al rovesciamento sotto l'azione della spinta dell'acqua.

Di tali puntoni ve ne sono tre contro le pareti a monte ed a valle, e quattro contro ciascuna delle due pareti longitudinali.

Inoltre le lamiere costituenti le alzate sono munite ad ogni metro di altezza di ferri d'angolo orizzontali.

Le alzate sono fisse per tre lati del cassone, ma per la faccia longitudinale che lambisce il fiume oltrecchè è lasciato uno spazio libero di m. 0,75 tra la lamiera e la muratura per permettere la posa della pietra da taglio, le dette alzate sono mobili a partire da una certa altezza in modo da poter lasciare allo scoperto il paramento della spalla all'epoca delle più basse acque. A tale effetto le alzate mobili hanno 4 mm. di spessore, e sono terminate su tutto il loro contorno da un ferro d'angolo di 60 × 60 × 6, formando così dei quadri che si possono facilmente fissare a posto con chiavarde, e levare.

Tutti i giunti del cassone e delle alzate si fecero con interposizione di feltro imbevuto di bitume per assicurare la ermeticità, la quale non ha mai lasciato a desiderare.

I dieci camini attraversanti il soffitto della camera di lavoro sono di lamiera di 7 mm. di spessore ed hanno il diametro interno di m. 1,05, ridotto a m. 0,910 nel punto d'attacco al soffitto predetto dalla presenza di un ferro di angolo interno di 70 × 70 × 7. L'Impresa ha adottato il partito di dare subito da bel principio ai camini tutta l'altezza necessaria per compiere l'affondamento del cassone. E con ciò essa ha potuto stabilire all'altezza di m. 7,30 sul cassone stesso un'impalcatura di servizio sulla quale potè disporre dei piccoli binari di servizio per i vagonetti di scarico degli sterri. L'impalcatura prese appoggio sulle travi stesse del soffitto del cassone, ed i sostegni furono disposti per modo da permettere a metà altezza la costruzione di una seconda impalcatura, la quale venne così a corrispondere al livello superiore della muratura a cassone completamente affondato. Ebbesi così un opportuno palco di servizio per l'esecuzione delle murature e per il riempimento con calcestruzzo della camera di lavoro.

Queste ingegnose disposizioni hanno permesso di ridurre al *minimum* la mano d'opera, le spese di trasporto dei materiali, e sovratutto i cambiamenti dell'impianto durante la discesa del cassone.

*

Estrazione degli sterri. — Quest'operazione venne eseguita secondo due sistemi differenti. Dapprincipio riesciva più facile e più economico all'impresa di far passare gli sterri al disotto della parete verticale del cassone versandoli nel letto del fiume, di dove erano ripresi e sollevati da una draga. Questo sistema fu permesso dagli ingegneri direttori dei lavori fino a che l'affondamento del cassone arrivò a m. 3,50, non permettendosi di approfondare gli scavi nel letto della Senna, anche in un punto limitato, al disotto della quota di m. 22,50.

Successivamente il sollevamento degli scavi si effettuò attraverso i camini per mezzo di verricelli azionati da motori ad aria compressa. Le bigoncie versavano in vagonetti scorrevoli sui binari della impalcatura superiore. Dapprima si tentò di versare direttamente le materie di scavo dai vagonetti nei sottostanti battelli per mezzo di incanalatori, ma vi si dovette presto rinunziare; la mano d'opera necessaria per dare assetto a questi materiali sul battello era molto dispendiosa, e gli operai erano esposti a continui pericoli per l'urto dei pezzi solidi dei detriti che, cadendo a terra, rimbalzavano. Onde gli scavi venivano più semplicemente versati nel letto del fiume, e di seguito ripresi colla draga.

L'aria compressa necessaria sia per l'estrazione meccanica degli scavi, sia per il rinnovamento dell'aria nella camera di lavoro, essendo presa dalla canalizzazione Popp, che passa al Ponte della Concordia, era fatta attraversare all'uscita dal contatore in un serbatoio di espansione, nel quale si riduceva alla pressione sufficiente allo scopo cui era destinata. Un focolare sotto di questo serbatoio permetteva nei giorni freddi di riscaldare l'aria, evitando la condensazione nelle condotture.

L'illuminazione elettrica della camera di lavoro per tutte le 24 ore della giornata, essendo una condizione imposta dai capitoli d'onere, fu impiantata una piccola officina elettrica; due motori a vapore verticali (Ravorth), a due cilindri, di 25 cav. ciascuno, azionavano ciascuno direttamente, a 500 giri, una dinamo a corrente continua. Un gruppo solo era sufficiente, l'altro era di riserva. Il vapore era somministrato pure da due generatori appositi, di cui uno di riserva.

La corrente era data a 140 volts; nell'interno della camera di lavoro avevansi 130 lampadine ad incandescenza di 16 candele riunite in serie due a due; ma difficilmente ne stavano contemporaneamente accese più di 100.

Esternamente l'illuminazione sulle impalcature era data da gruppi di 4 lampadine da 50 candele nei punti più necessari alle manovre del carico e scarico dei vagonetti.

Il consumo giornaliero riuscì in media di 2000 ettowatt-ora dei quali 1600 per la camera di lavoro e 400 per l'illuminazione all'esterno. Il costo dell'ettowatt-ora risultò di fr. 0,06.

In previsione di una improvvisa mancanza della corrente elettrica era prescritto che all'orifizio di tutti i camini restasse continuamente una lanterna con candela accesa.

La regolarità degli strati di terreno incontrati sulle due sponde del fiume ha facilitato assai la discesa del cassone. I soli ostacoli incontrati furono i pali di fondazione dei murazzi e dei massicci dei piloni del ponte sospeso di Navier; dei quali pali se ne incontrarono 300 nel cassone di sponda destra, e 110 nel cassone di sponda sinistra. Essi erano infissi nel calcare grosso o negli strati sottostanti, colla punta alla quota in media di m. 19,50. Erano pali di quercia, e furono riscontrati in istato di perfetta conservazione, malgrado i loro 75 anni di infissione.

*

Riempimento della camera di lavoro. — Raschiato a dovere il fondo e nettamente scopato; lavati e fregati con spazzole di ferro tutti i ferri, e cospersi di cemento liquido; assicurato al suolo con banchette di muratura il tagliente delle pareti di perimetro e di quelle trasversali; si procedette al riempimento di calcestruzzo degli scompartimenti del cassone, e successivamente ritirandosi da uno scompartimento all'altro per mezzo di gradinate di 40 centim. di altezza, cosicchè fu possibile conservare nell'interno la illuminazione elettrica fino alla fine dell'operazione. Ultimo lavoro era l'otturamento dei camini, e per ottenere la loro ermeticità in modo assoluto, si cominciò dal versare in ogni camino sul calcestruzzo del cassone sottostante, sopraelevato in esso di .10 centim , dei sacchi di cemento puro fino a rifiuto di pene-

trazione; poi si chiusero i camini con un tappo circolare di legno ben serrato con cunei; ed infine sul tappo venne versato altro cemento, e si riempì per 60 centimetri di altezza il camino con calcestruzzo. La pressione dell'aria è stata mantenuta per 48 ore dopo la chiusura dell'ultimo camino per prevenire il dilavamento del calcestruzzo. Per ultimo si smontarono i camini al disopra della parte inferiore abbandonata nella fondazione, e si terminò all'aria libera la muratura di fondazione.

*

Durata dei lavori di fondazione. — I lavori vennero aggiudicati il 25 febbraio 1897, l'ordine di dar principio alla loro esecuzione fu dato il 13 aprile, e dovevano essere ultimati entro un anno da questa data.

Per la spalla destra l'affondamento del cassone ha durato 64 giorni, dal 20 agosto al 24 ottobre, in ragione di 11 centimetri di abbassamento per giorno.

Per la spalla sinistra l'affondamento ha durato 57 giorni, dal 15 gennaio 1898 al 13 marzo, non essendosi lavorato per tre giorni (dal 6 al 9 marzo) per minaccia di inondazione; e quindi con un abbassamento medio giornaliero di centimetri 12,6.

Il lavoro di riempimento di calcestruzzo della camera di lavoro durò 14 giorni così per la spalla destra che per quella di sinistra.

*

Murature al disopra delle fondazioni. — Queste murature avendo dovuto essere oggetto di studio degli autori del progetto del ponte cogli architetti incaricati della parte decorativa, non se ne potè precisare il disegno che alcuni mesi dopo che già era cominciata la loro esecuzione, la quale venne affidata alla medesima impresa che eseguì le fondazioni, per mezzo di una estensione di contratto.

Questi lavori comprendono:

1° Il muro interno di sostegno delle terre per la trincea che deve dar passaggio alle deviazioni provvisorie delle vie pubbliche; per il quale si richiese una palificazione fino a raggiungere il fondo del cassone, ed il costipamento del terreno sconcertato dalla discesa del cassone, in modo da ren-

dere effettiva la spinta delle terre. Le parti di muro a monte ed a valle del cassone, essendo protette dal murazzo di sponda vennero fondate senz'altro sul suolo naturale;

2° Il murazzo del *quai* che è portato interamente dalle fondazioni del cassone, e nei tratti a monte ed a valle della fondazione stessa, da quelle dell'antico murazzo demolito;

3° I quattro massicci di sottobase dei grandi motivi di decorazione architettonica, facenti corpo coi muri dello scalone, e la vôlta di testa del passaggio sulle basse banchine, con rivestimento di granito dalla risega di fondazione alla cornice. Il loro peso valutato da 1600 a 1700 tonnellate trovasi sostenuto da palificazione; i pali della grossezza di 30 × 30 cent., furono piantati a rifiuto con mazza di chilogrammi 1200, cadente da m. 1,80 di altezza. E questi pali, supponendo che tutto il peso della muratura venisse ad essere interamente sostenuto da essi, resterebbero caricati a 32 kg. per cent. q. per la spalla destra, ed a 26 kg. per la spalla sinistra. Furono prese le necessarie precauzioni perchè tali murature non fossero unite a quelle sostenute direttamente dal cassone di fondazione, se non dopo che tutte le murature di sopraelevazione avessero fatto i loro cedimenti di definitivo assetto;

4° Le arcate sostenenti l'ossatura dell'impalcato del viadotto, e che riuniscono i massicci di sottobase decorativi di cui sopra, a monte con quelle a valle;

5° I raccordamenti coi muri di sostegno delle basse banchine in prossimità delle spalle, a monte ed a valle.

PARTE III.

Il ponte di servizio scorrevole per la montatura degli archi.

Generalità. — Nell'intento che la navigazione sulla Senna durante la costruzione del ponte non avesse ad incontrare difficoltà, il capitolato prescriveva che le armature necessarie alla montatura degli archi fossero tenute sospese da un ponte di servizio lanciato attraverso la Senna, il quale si potesse trasportare lateralmente per trovarsi successivamente al disopra di ciascuno degli archi da montare. Volendosi evitare qualsiasi inconveniente dipendente da piene straordinarie possibili, i binari di scorrimento dovevano essere collocati sopra le spalle. Lo studio particolareggiato del ponte di servizio, e delle relative manovre restava a carico dell'Impresa.

Successivamente si riconobbe che per i bisogni della navigazione bastava si fosse lasciato un passo di 50 metri completamente libero nel bel mezzo dell'alveo.

Per tal modo la parte degli archi vicina all'imposta poteva essere montata per mezzo di armature fisse, ossia sostenute da pali infissi nell'alveo al di fuori della passata centrale, e nel medesimo tempo anche il ponte di servizio scorrevole, pur continuando ad appoggiare in modo permanente sugli spalloni, poteva, durante il periodo della montatura degli archi, quando per l'appunto veniva a dover sostenere il massimo carico, esserne un pochino alleggerito con appoggi intermedi provvisori.

Questa facoltà, di cui ha potuto valersi l'Impresa, se per una parte la obbligava in caso di grosse piene a smontare e ritirare quelle parti dell'arco che si stessero montando, le permise di potere senza eccesso di spesa costruire il ponte di servizio in modo da prestarsi contemporaneamente alla montatura di due archi consecutivi, con notevole vantaggio sia dal lato della regolarità del lavoro, che da quello della celerità di esecuzione.

La distanza tra i punti d'appoggio estremi sui cavalletti scorrevoli era di 120 metri. Cogli appoggi provvisori inter-

medi, di cui sopra, la portata totale veniva a suddividersi in tre portate, di 53 metri quella di mezzo, e di m. 33,50 caduna le due laterali.

La travata del ponte scorrevole doveva dunque essere considerata come una travata unica durante lo spostamento trasversale e come una travata continua su tre appoggi durante la montatura degli archi.

In tutti due i casi essa doveva poter sostenere, oltre al proprio peso, l'effetto del vento, la cui pressione orizzontale fu supposta di 120 chg. per metro quadrato, come erasi pure adottata nei calcoli delle armature per i lavori dell'Esposizione del 1889.

I particolari del ponte di servizio vennero studiati nelle officine di Châlon-sur-Saône dette del Petit-Creusot, per opera dell'ingegnere Rochebois e sotto la direzione del signor Schmidt, Direttore di quelle officine.

*

Descrizione del ponte di servizio. — Consiste di due travi rettilinee a traliccio, lunghe 120 metri tra i ritti estremi e di m. 7,50 di altezza (fig. 2). La distanza fra le due travi, misurata in senso normale alla loro direzione è di m. 5,714. Tale distanza venne adottata per poter mettere a posto due archi consecutivi simultaneamente.

Il peso totale di questo ponte di servizio fu di circa 280 tonnellate.

La sezione delle due travi è a semplice I; la parete del traliccio è a doppio intreccio. I ritti o montanti verticali distano fra loro di m. 3,625 che è la lunghezza della proiezione orizzontale dei cunei degli archi; sul mezzo del ponte i tre intervalli sono di minore lunghezza precisamente come i cunei di chiave dell'arco.

Le due travi sono rilegate tra loro (fig. 3 e 4) con una serie di quadri in corrispondenza dei ritti verticali, i quali rimangono collegati a metà di loro altezza da una travatura orizzontale. Inferiormente a quest'armatura e contro la faccia interna dei montanti sono collegate le mensole destinate a sorreggere i piccoli binari per far scorrere i carrelli di manovra dei cunei degli archi. Superiormente a quell'armatura i quadri sono controventati da sbarre orizzontali al

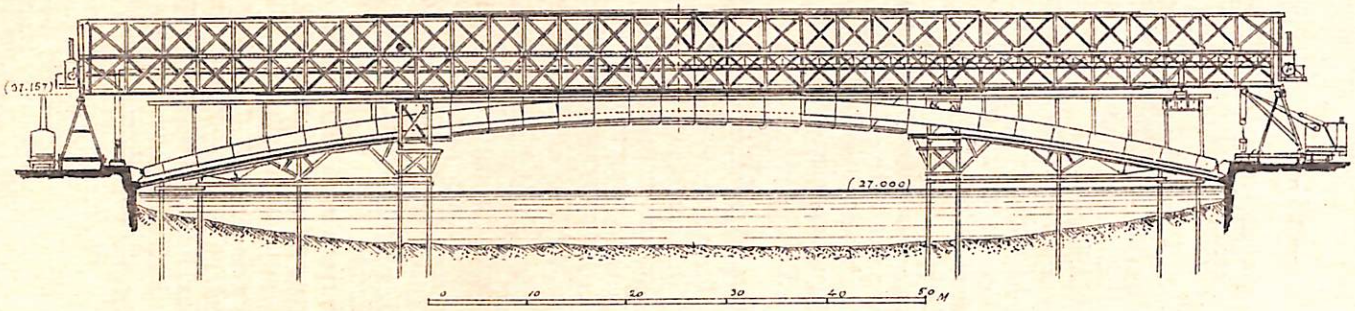


Fig. 2. — Prospetto del ponte di servizio scorrevole per la montatura degli archi.

livello superiore delle piattabande, e da croci di Sant'Andrea; mentre al disotto dell'armatura doveva lasciarsi libero il passo per il trasporto dei cunei o conci degli archi.

Nelle due campate laterali del ponte, i montanti verticali delle due travi sono inferiormente smussati in modo da venire a terminare sulla piattabanda inferiore della trave propriamente detta (fig. 3).

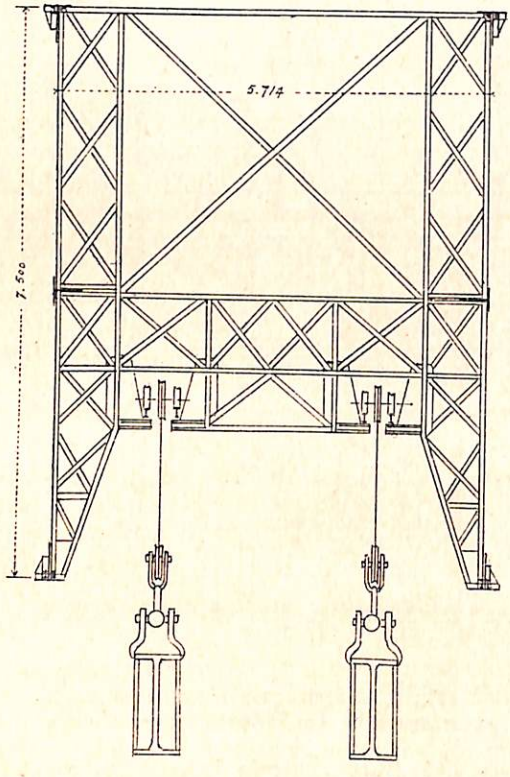


Fig. 3. — Sezione trasversale della travata (Campate laterali).

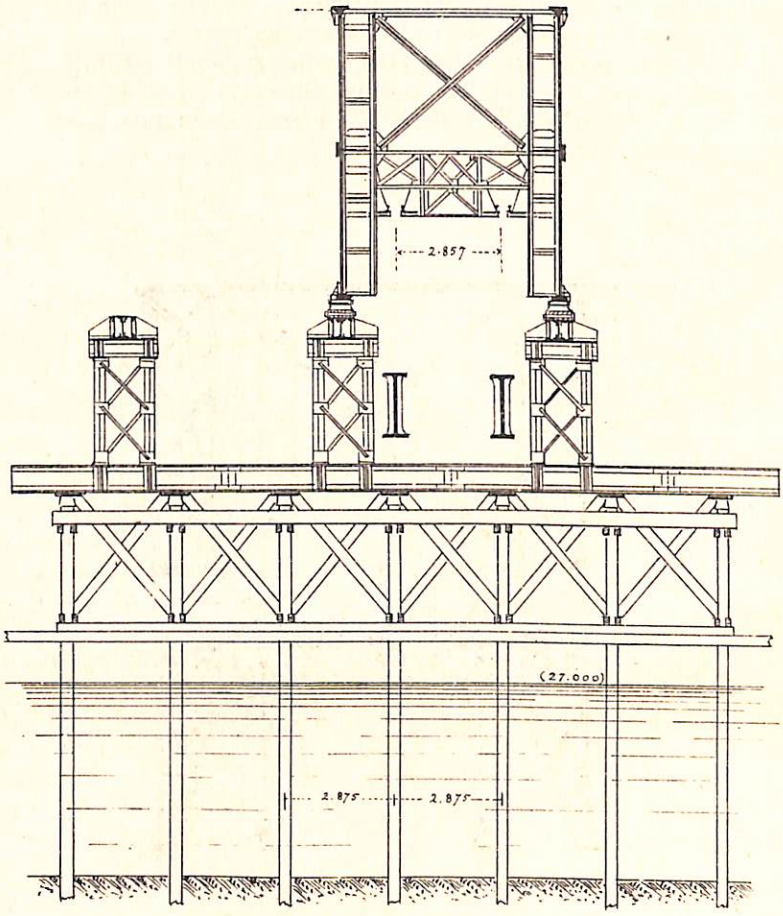


Fig. 4. — Sezione trasversale della travata
su di una delle due stilate d'appoggio provvisorio.

Invece nella tratta centrale, la parte inferiore di questi montanti, e così pure quella dei quadri di sostegno delle mensole dei binari, sono disposte in modo da poter ad esse

raccomandare le aste di sostegno dell'impalcato od armatura sospesa (fig. 7 e 8). Ed affinchè questo sistema nel suo complesso presentasse garanzia sufficiente per resistere ai colpi di vento, il cui effetto poteva essere considerevole, avuto riguardo alla superficie di presa opposta dal tavolato inferiore non che dagli archi in via di essere montati, epperò sostenuti dal medesimo ponte di servizio, così l'ossatura venne completata con una trave trasversale a traliccio, disposta orizzontalmente a metà altezza e di sezione a I, la quale rilega i montanti nel punto di incrocio del traliccio.

*

Gli appoggi del ponte provvisorio di servizio sulle stilate nel fiume hanno dovuto pure essere oggetto di studio particolare. L'apparecchio d'appoggio di ciascuna trave longitudinale riposa su di un robusto seggio (specie di trave ad anima verticale tripla, disposta parallelamente alla direzione del ponte) che vedesi in sezione sulla fig. 4, portato da un cavalletto metallico che si eleva nello spazio compreso fra due archi sopra di una trave trasversale di base riposante sulle teste dei pali infissi nell'alveo. Questi cavalletti sono smontati appena è ultimata la montatura di una coppia d'archi, e prima di far scorrere lateralmente il ponte di servizio. Tutta questa disposizione dei cavalletti può parere esagerata a prima vista per rispetto al carico verticale che verrebbe a trasmettersi a ben 12 pali (distribuiti in 2 file di 6 pali caduna); ma è stata giudicata necessaria per resistere pure alla pressione del vento, la quale può avere per effetto di notevolmente spostare il punto di applicazione della risultante degli sforzi applicati ai quadri d'appoggio intermediari.

*

Gli appoggi estremi del ponte di servizio, che diventano pure unici, quando il ponte deve spostarsi lateralmente per procedere alla montatura di un'altra coppia di archi, riposano (fig. 5 e 6) — per mezzo d'una trave ad anima tripla di 50 cent. d'altezza, disposta parallelamente alla direzione del fiume — sopra di un carro a cavalletto piramidale, dell'altezza di 6 metri circa da terra e munito di 5 coppie

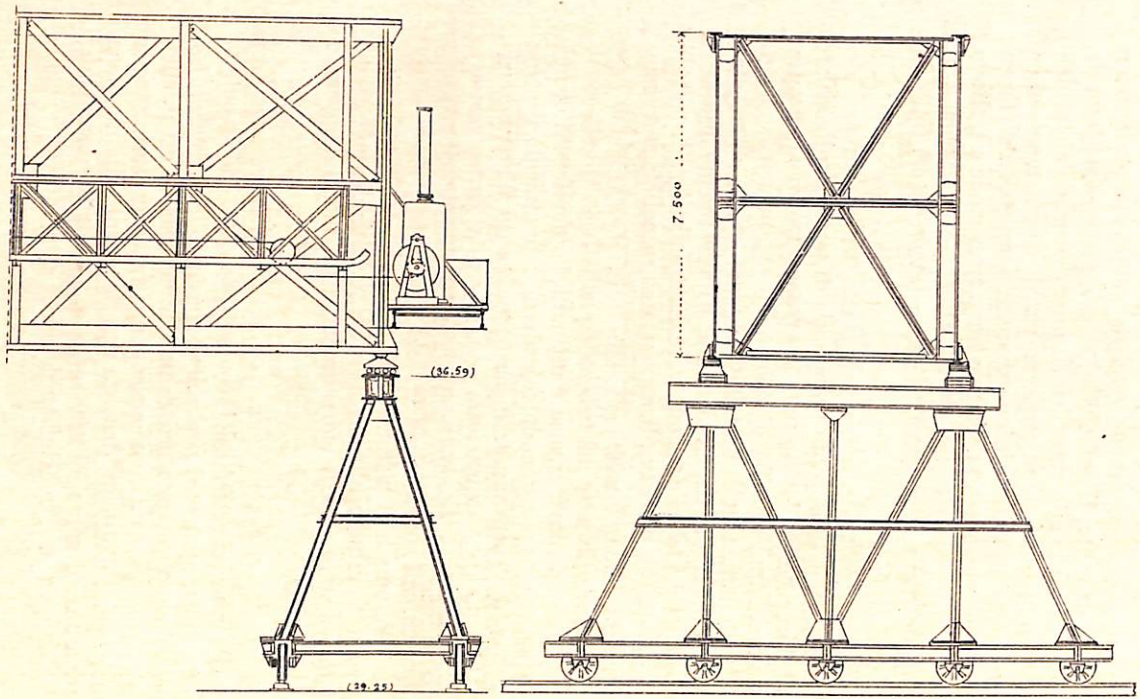


Fig. 5 e 6. — Cavalletto scorrevole, di appoggio delle estremità della travata di servizio.

PROVINCIA DI GIUNTI

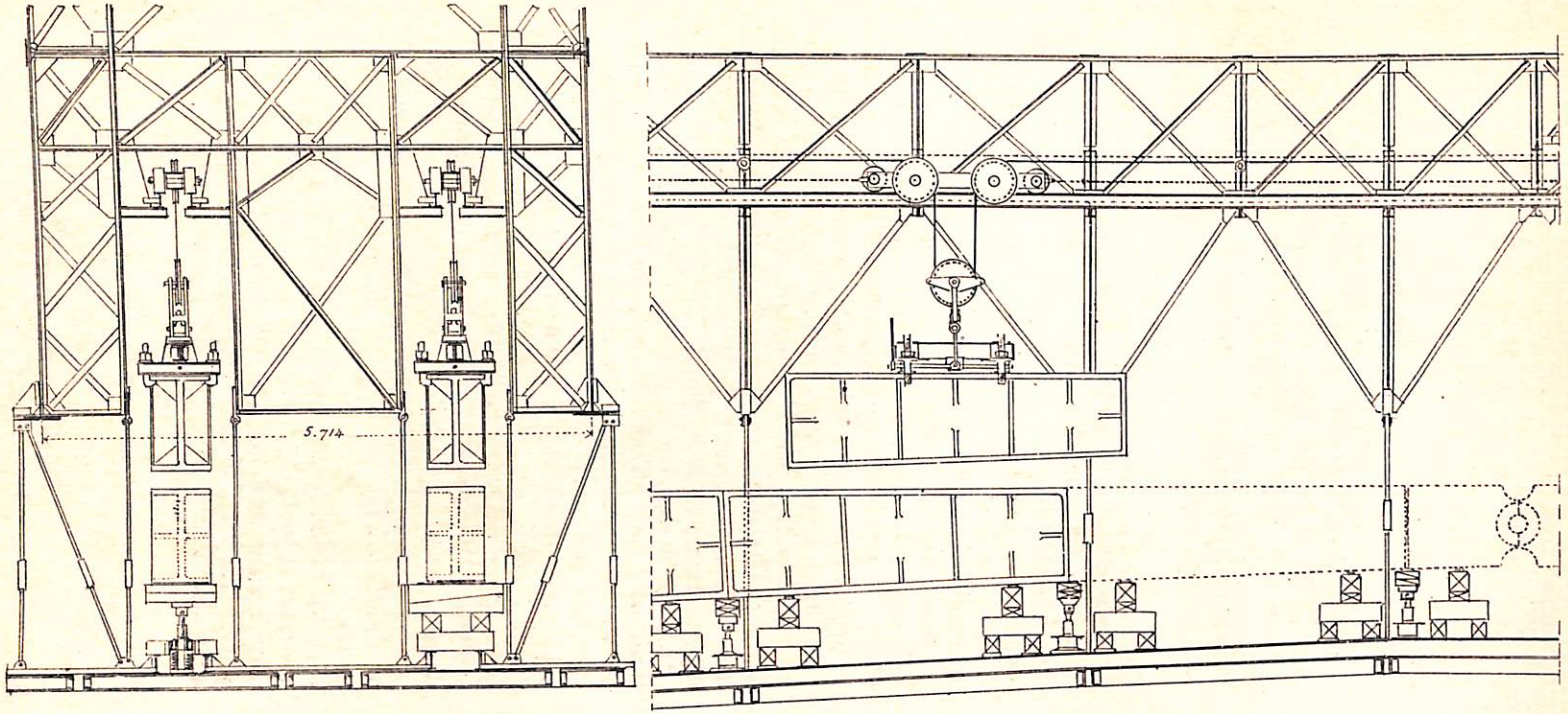


Fig. 7 e 8. — Particolari della posa in opera dei cunei dell'arco.

di ruote. La larghezza del binario di scorrimento è di m. 4; la distanza tra gli assi delle ruote del carro è di m. 2,875, e così la base totale del carro, o distanza tra gli assi delle ruote estreme è di m. 11,50. Le fig. 5 e 6 indicano abbastanza il modo con cui le parti principali del cavalletto sono tra loro riunite e fasciate.

*

Condizioni di stabilità del ponte di servizio. — Nella costruzione del ponte di servizio si è adoperato esclusivamente l'acciaio laminato per le sbarre di resistenza di qualsiasi forma e dimensione; e l'acciaio fuso per gli apparecchi di appoggio. Come nel caso dei ponti permanenti, l'acciaio laminato doveva resistere ad un carico di rottura di 42 chg. per mmq. con un allungamento del 22 per cento.

Il peso totale del ponte di servizio, ossia di tutta la parte scorrevole, compresi i suoi apparecchi di appoggio, è stato di tonn. 238,5, e aggiungendo i due cavalletti a carro, costituenti gli appoggi di estremità, i due verricelli a vapore e relativa piattaforma di base, ecc., si ebbe un totale di 325 tonn. Durante la montatura degli archi avevasi pure il peso della impalcatura di legno, sospesa ai tiranti verticali, del peso essa sola di 10 tonn.

Il ponte fu calcolato in modo da resistere agli sforzi verticali, ed a quelli di un vento che esercitasse una pressione orizzontale di 120 chg. e nell'ipotesi che l'acciaio lavorasse a 12 chg. per mmq. sotto l'effetto dei carichi verticali, e a 13 chg. sotto l'effetto simultaneo del vento.

Ma il ponte non aveva realmente da sopportare questi sforzi se non nel brevissimo tempo in cui veniva ad essere spostato da una coppia d'archi montata a quella successiva da montare. Oltrecchè non era supponibile che si scegliesse una giornata di vento violento per spostare il ponte; e ad ogni modo potevasi togliere il tavolato sospeso alla parte di mezzo.

Per la ragione medesima che ne aveva motivata la costruzione, il ponte di servizio non poteva venire montato sul posto, ma dovevasi montare sulla riva (destra) e poi lanciare al suo posto. Ma per mancanza di spazio non era possibile montare in una volta sola nemmeno un troncone di

tale lunghezza da poter superare in una volta sola la totale lunghezza del passo centrale di 53 metri. Onde l'operazione ebbe luogo in tre periodi, e non senza munire la estremità anteriore del ponte di un avambecco leggero di 15 metri di lunghezza.

Risultando dai calcoli dell'ingegnere Rochebois (1) che il lavoro del metallo durante l'operazione del varo della travata poteva arrivare a chg. 15,8 per mmq., fu pure presa la precauzione di costruire su di uno zatterone una pila di legno galleggiante e di raccomandare lo zatterone fra quattro pali infissi nell'alveo, al disotto della parte a sbalzo della travata durante il varo, nell'intento di venire in aiuto alla medesima, in caso di qualche avaria per effetto del materiale o della montatura.

Per tener conto dell'abbassamento dell'estremità della travata che rimaneva a sbalzo durante l'operazione del varo, l'estremità dell'avantreno fu tenuta rialzata di 20 centim.

*

Durata delle operazioni. — Il progetto del ponte di servizio venne presentato alla fine di gennaio del 1898; il lavoro dei ferri incominciò nelle officine di Châlon in aprile, ed i primi tronconi di travata arrivarono alla riva della Senna verso la metà di luglio.

La montatura della travata sul posto incominciò il 22 luglio. Ne fu varata una prima parte il 20 agosto; si proseguì l'operazione l'8 settembre, ed al 30 settembre la travata raggiungeva la sponda opposta.

Le tre operazioni hanno avuto luogo senza incidenti, e non durarono che una mezza giornata. La navigazione non fu interrotta che durante la seconda operazione e per sole due ore, dalle 5 alle 7 del mattino.

Lo scorrimento della travata era ottenuto per mezzo di due verricelli, i quali operavano su due paranchi raccomandati alla stilata della riva destra.

---

(1) Vedasi la nota n. V: *Stabilité du pont pendant bilancement*, nelle *Annales des ponts et chaussées*, 1898, 2° trim., pag. 277-284.

Gli apparecchi di scorrimento erano a bilanciere, con due o quattro rulli ad asse fisso secondo il peso che dovevano sorreggere.

La ossatura del ponte ha resistito benissimo a tutte le operazioni. Quando avevasi di sbalzo la maggior parte della travata si constatò un abbassamento di 16 mm. sull'appoggio della stilata di partenza, un altro di 5 mm. sull'appoggio di dietro ed un abbassamento di 136 mm. all'estremità della travata. L'avambecco venne a posare sul sostegno senza che fosse d'uopo di rialzarlo.

La montatura e la messa in opera del ponte di servizio si fecero sotto la direzione dei signori Schmidt e Rochebois, Direttore il primo ed Ingegnere il secondo delle officine del Petit-Creusot, e coll'opera del capo montatore Camus.

*

Verifiche di stabilità. — Appena messo a posto il ponte di servizio, si volle accertarsi della sua stabilità facendo il confronto delle saette di flessione calcolate con quelle osservate sia durante il varo, sia successivamente.

Il calcolo delle saette di flessione era stato fatto nello studio del Petit-Creusot, partendo dalla formola generale dei tre momenti (1) prendendo per EI la media dei valori corrispondenti alle diverse sezioni, poichè quella formola suppone costante il momento d'inerzia per tutta la lunghezza della trave. Ma poichè lo studio della flessione col metodo grafico permette di tener conto senza difficoltà delle variazioni del valore di EI, si disegnarono in seguito tre curve di flessione, prendendo $E = 16 \times 10^9$, la prima nell'ipotesi di un carico uniformemente ripartito di 900 chg. per metro lineare di ponte; la seconda nell'ipotesi che fosse caricata la trave centrale in ragione di 1000 chg.; la terza nell'ipotesi di due pesi concentrati di 20 000 chg. disposti simmetricamente sui punti d'appoggio. E con tali elementi potè essere a rigore tracciata la curva di flessione della trave, quando la parte centrale si trovasse sovraccaricata dalle armature sospese in ragione di 360 chg. per metro corrente.

---

(1) Questo calcolo trovasi esposto nelle *Annales des ponts et chaussées,* 1898, 4° trimestre, da pag. 119 a 122.

Le osservazioni fatte quando la travata riposava liberamente sui soli appoggi estremi, e non sopportava alcun sovraccarico, diedero per la sezione di mezzo una saetta di flessione di 244 mm., la quale non sarebbe che gli 84|100 della saetta calcolata.

Quando il carico portato dalla travata centrale si elevò a tonn. 26,5 corrispondente esattamente ad un sovraccarico di 250 chg. per metro corrente di travata, la saetta per la sezione di mezzo risultò di 278 mm., ossia nel rapporto di 81|100 della saetta calcolata.

L'aumento di flessione osservato per effetto del sovraccarico (278 — 244 = 34 mm.) non essendo stato che i 4|5 di quello che avrebbe dovuto essere, si spiegò l'anomalia col fatto che il sovraccarico non era direttamente applicato alle travi, ma ad un sistema che offre per sè stesso una certa rigidità, e che poteva ripartire l'effetto del sovraccarico stesso sopra una lunghezza maggiore di quella della travata centrale.

Si sono osservate pure le saette di flessione quando il ponte era sostenuto dagli appoggi intermedi e portava il carico dei cunei componenti due archi contigui del ponte definitivo. La flessione osservata per la sezione di mezzo è stata di 249 mm., e quella calcolata in tali condizioni era di 247 mm.

PARTE IV.

Costruzione degli archi e della sovrastruttura metallica del ponte.

Tracciamento degli archi. — La fibra neutra di un arco a tre cerniere dovendo razionalmente assecondare le curve delle pressioni ed il metallo dovendo distribuirsi simmetricamente intorno a codesta fibra neutra, in modo da presentare un rigonfiamento alle reni, o per meglio dire nei punti in cui i momenti inflettenti diventano maggiori sotto l'effetto di sovraccarichi disimmetrici, — si cominciò col disegnare, per mezzo di ascisse ed ordinate, la curva media delle pressioni, e visto che ottenevasi un risultato soddisfacente all'occhio dando all'arcata l'altezza di 1 metro all'imposta, di 0,90 alla chiave, e di 1,50 alle reni, si finì per tracciare come curva d'intrados un arco di cerchio di 275 metri di raggio, il quale cominciasse 50 cent. al disotto dell'articolazione all'imposta, e passasse 45 cent. al disotto dell'articolazione di chiave; per modo che l'altezza compresa fra la curva media delle pressioni e l'arco circolare d'intrados alle reni risultava appunto di m. 0,75.

La linea di estrados fu invece disegnata dapprima per punti, e poi assecondata con un tracciato geometrico ad archi di cerchio rigorosamente definito.

Come linea media di costruzione, normalmente alla quale dovevasi dirigere la superficie di giunto dei cunei, fu definitivamente adottato un arco di cerchio con raggio di metri 228,5586 fatto passare per i centri delle articolazioni, siccome quello che si verificò differire pochissimo dalla curva media delle pressioni.

*

Preparazione degli archi all'officina. — I cinque stabilimenti metallurgici designati dal Capitolato quali aventi il materiale e l'intelligenza sufficienti per essere fornitori dell'acciaio fuso, hanno tutti partecipato alla formazione degli archi. Trattandosi di ben 2400 tonn. di acciaio fuso, il lavoro fu distribuito fra di essi, procedendosi nella numera-

zione dei 15 archi da monte a valle, ogni acciaieria dovendo essere impegnata alla fornitura di uno o più archi, ma completi.

Acciaierie:

Châtillon et Commentry . .	4 archi	1°, 8°, 12° e 15°
Marine et chem. de fer (Saint-Chamond)	4 »	2°, 6°, 10° e 14°
Creusot	3 »	3°, 7° e 13°
Saint-Étienne	2 »	4° e 9°
Firminy	2 »	5° e 11°.

Archi intermedi. — La forma della sezione degli archi intermedi è quella del I simmetrico (fig. 2 della Tav. I e fig. 4, sez. *a b*), la quale è egualmente vantaggiosa, sia per riguardo alla resistenza ai momenti di flessione, sia dal punto di vista della facilità della fondita.

Per gli archi di fronte non apparve abbastanza decorativa, e fu preferita la forma quale appare dalla fig. 2 della Tav. I, e dalla fig. 4, sez. *c d*, tuttochè conducesse ad una spesa notevolmente maggiore.

Per tutte due le forme, la larghezza delle piattabande fu limitata a m. 0,60 per evitare l'incurvamento ed altre difficoltà di fondita. Così pure, per le necessità della fondita, gli spessori non potevano scendere al disotto di 50 mm. Epperò, non volendosi rendere inutilmente pesante il ponte, la distanza degli archi, che nel progetto di massima era stabilita di m. 2,50, fu portata a m. 2,857, riducendo il numero degli archi da 17 a 15.

La lunghezza dei cunei era stata limitata dalla considerazione degli effetti del ritiro della materia dopo la fondita. La mezza corda dell'arco fu pertanto divisa in sedici parti, di cui quattordici eguali fra loro presentano la lunghezza di m. 3,625; le due parti estreme riescendo quindi di minore lunghezza. La lunghezza dei cunei dell'arco varia quindi da m. 3,615 a 3,725; il ristringimento o ritiro della materia in tal caso può arrivare fino ad 8 centimetri, donde la necessità di precauzioni speciali per evitarne fenditure od altri inconvenienti durante il raffreddamento.

Come meglio appare dalla figura 9 qui nel testo, ogni cuneo degli archi intermedi è terminato alle due estremità da una parete di giunto rettangolare che ha la larghezza di tutta la sezione; oltre che alle estremità le piattabande sono pure riunite insieme ed all'anima centrale in due punti intermedi da nervature verticali, che sono di 10 centimetri più in dentro della verticale che unisce le due piattabande. Altre nervature triangolari, o d'angolo, intermedie, come vedesi sulla figura, rilegano le piattabande all'anima centrale ed alle pareti terminali di giunto.

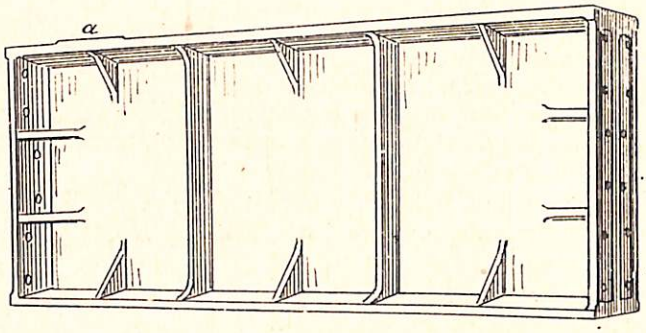


Fig. 9. — Veduta in prospettiva di uno dei cunei costituenti gli archi intermedi del Ponte.

L'anima verticale ha lo spessore costante di 50 mm. per tutti i cunei; lo spessore delle piattabande cresce pei cunei, dall'imposta alla chiave, da mm. 52,5 a 55 ed a 60 mm.; lo spessore delle nervature e delle pareti di giunto è di 40 mm.

Le superficie di contatto delle pareti di giunto di due cunei contigui sono munite di risalti accuratamente fatti passare al lavoro della pialla; questi risalti presentano 120 millimetri di larghezza in corrispondenza dell'anima verticale, e 100 mm. in corrispondenza delle due piattabande. Leggeri risalti, della larghezza di mm. 52,5, accompagnano il filo esterno delle pareti di giunto, ma non vengono a con-

tatto, dovendo rimanere un vuoto di 2 mm. tra loro in ogni giunto.

I cunei sono riuniti tra loro col mezzo di 12 chiavarde del diametro di 35 mm. Per facilitare la montatura, ogni giunto ha due chiavarde di precisione (*boulons broches*) che non presentano giuoco; le altre chiavarde hanno un giuoco di mezzo millimetro.

La divisione dei giunti negli archi non corrisponde con quella degli assi dei ritti verticali, o montanti, della sovrastruttura metallica che sostiene il tavolato del ponte.

*

Archi di fronte. — Per gli archi di fronte (fig. 10), la sezione fu studiata in modo che l'arco stesso apparisse come fatto tutto d'un pezzo, e si è riusciti a nascondere affatto le chiavarde d'unione d'un cuneo coll'altro adottando la sezione ad ⊏ coll'anima verso l'esterno leggermente convessa, pur lasciando correre, all'intradosso ed all'estradosso, una lista in risalto su piano verticale, la quale accusasse la presenza delle piattabande, quali elementi di solidità.

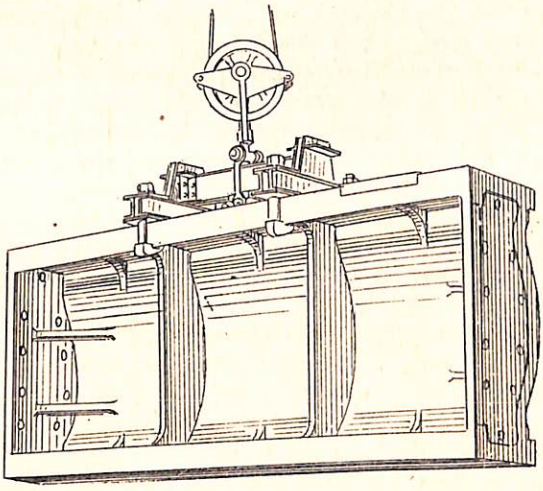


Fig. 10. — Veduta in prospettiva, dalla parte interna, di uno dei cunei dell'arco di fronte.

Il listello ha l'altezza di $^1/_{12}$ di quello dell'arco, ed aggetta su di un altro listellino che ha l'altezza di $^1/_{24}$ di quella dell'arco. Come appare dalla fig. 4, Tav. I, sez. *cd*, la faccia esteriore dell'anima è determinata da un arco di cerchio tangente nel mezzo al piano verticale determinato dall'aggetto dei due listelli, superiore ed inferiore.

*

Fusione e ricottura dei cunei. — I modelli di fondita vennero eseguiti tenendo conto d'un restringimento o ritiro del metallo di 18 mm. per metro. Il volume di legname occorso nella formazione dei modelli per una mezza arcata intermedia è stato di 20 mc., e per un'intera arcata di fronte di 50 mc.

Tutte le fonderie hanno fuso i loro cunei sotto l'inclinazione di 10 a 17 cm. per metro. La colata durava quattro minuti. Al Creusot, il giorno dopo, facevasi subire al pezzo fuso una *prima ricottura* a 800° con raffreddamento lento per eliminare le tensioni dovute al restringersi del metallo. In altre acciaierie, invece, avevasi cura di non toccare alle forme per alcuni giorni, preoccupandosi meno degli effetti del restringimento nella forma, che di quelli di un raffreddamento brusco ed ineguale. A Firminy preferivasi di rallentare il getto della colata quando arrivavasi ai due terzi della fusione, e di lasciar raffreddare lentamente il pezzo nella propria forma per quattro o cinque giorni.

Ad ogni modo la ricottura, oltre ad eliminare le azioni molecolari latenti dovute a ciò che il raffreddamento dei contorni che sono a contatto della forma è sempre più rapido di quello della parte interna, aveva pure per effetto di togliere la cristallizzazione che potrebbesi produrre col raffreddamento nell'interno della massa. E quest'operazione della ricottura fu oggetto di particolare attenzione in tutte le acciaierie. Al Creusot ed a Firminy, nell'intento di prevenire la cristallizzazione e di accrescere la finezza della grana, si fece pure subire una specie di tempra parziale al metallo, ossia abbassavasi bruscamente la temperatura da 1000° a 600° con aprire le porte del forno; poi, richiudendole ermeticamente, compievasi il raffreddamento lento in

45 ore. Onde l'operazione completa della ricottura esigeva da 80 a 85 ore.

Al Creusot, invece, dove erasi già ottenuta una prima ricottura, la seconda compievasi in 26 a 28 ore al più.

Uscendo dal forno a ricuocere, i cunei venivano puliti a colpi di martello, e intanto procedevasi ai saggi di prova della qualità del metallo.

*

Prescrizioni del Capitolato per le prove dei pezzi di fondita. — Il Capitolato prescriveva che le prove fossero di due specie: cioè di resistenza alla trazione e all'urto.

Alla *trazione* il metallo doveva presentare, dopo la ricottura, una resistenza alla rottura di 45 chg. per mmq. col 12 0[0 d'allungamento operandosi su barre di 100 mm. tornite, del diametro di mm. 13,8; il limite d'elasticità non doveva d'altronde essere inferiore a 24 chg.

Ma furono ammessi limiti di tolleranza; si ammise che il carico di rottura potesse scendere a 42 chg. ed il limite di elasticità a 22, a condizione che l'allungamento fosse almeno del 15 0[0. Si ammise pure che l'allungamento potesse limitarsi al 10 0[0 a condizione che la resistenza alla rottura arrivasse almeno a 48 chg.

In quanto all'*urto*, le prove dovevano farsi con barre d'acciaio di sezione quadrata, di 30 cm. di lato, e di 20 cm. di lunghezza; distanza fra i punti d'appoggio, cent. 16. Ogni pezzo doveva sopportare senza rompersi l'urto d'un maglio del peso di 18 chg. cadente da altezze successivamente crescenti di 5 in 5 cm., dall'altezza iniziale di 1 m. a quella finale di 1,50. Nessuna tolleranza era ammessa per questa prova che aveva per oggetto di conoscere il grado di fragilità dell'acciaio.

L'operazione stessa della fondita non permettendo di ottenere i cunei delle precise dimensioni stabilite, a tutto rigore sarebbe stato necessario di modellare i pezzi con dimensioni leggermente superiori e poi di piallarli su tutte le facce. Ma il lavoro sarebbe riuscito eccessivamente costoso; onde si limitò tale processo per quelle dimensioni per le quali non potevasi assolutamente fare a meno di averle precise, e per tutte le altre vennero ammesse diverse tolleranze, cioè:

1° tolleranza indeterminata sulla lunghezza dei cunei, purchè la lunghezza totale del mezzo arco non riuscisse modificata oltre i 5 mm.;

2° tolleranza di 5 mm. nell'altezza degli archi, ma coll'obbligo di ristabilire la continuità delle linee d'intrados ed estrados;

3° tolleranza di 5 mm. nella larghezza delle piattabande, a condizione di non scartare più di 2 mm. da un arco all'altro, e che le nervature od ali di una medesima sezione non scartino più di 3 mm. da una all'altra;

4° tolleranza di 2 mm. negli spessori delle piattabande e dell'anima verticale, e di 5 mm. negli spessori delle pareti terminali di giunto;

5° tolleranza di 5 mm. sulla regolarità della superficie piana dell'anima nel tratto compreso fra due nervature, e di 8 mm. per tutta la lunghezza del cuneo.

Queste tolleranze sulle dimensioni dovevano avere per conseguenza logica una tolleranza sul peso dei pezzi, che fu stabilita del 5 0[0 del peso teorico in più od in meno, senza che la tolleranza sulla totalità della fornitura possa oltrepassare il 3 0[0.

Naturalmente tutte queste tolleranze, e con esse le difficoltà di addivenire a ritocchi sul cantiere, obbligarono a fare tutte le verifiche per l'accettazione all'officina, donde l'obbligo imposto alle cinque acciaierie di procedere alla montatura di ogni mezzo arco, su di apposita piattaforma arcuata, prima della spedizione.

*

Risultati delle prove di saggio del metallo all'acciaieria. — La prova alla trazione eseguivasi per ogni cuneo su tre saggi torniti, e quella dell'urto parimenti su tre barre. Ma quest'ultima prova, per la quale a tenore del Capitolato stimavasi buono il metallo quando i pezzi resistevano senza rompersi ad undici colpi di maglio, non essendosi ritenuta completa, venne prescritto ai controllori di seguitare per un certo numero di pezzi anche al di là dell'11° colpo, e fino alla rottura, e nel caso in cui questa non avvenisse, di rompere i pezzi colla pressa notando l'angolo di rottura.

Acciaierie	Limite di elasticità	Resistenza alla rottura	Allung. per cento	N° medio dei colpi di maglio
Châtillon et Commentry	28,5	54,9	16,4	31
Saint-Chamond. . .	27,4	50,1	19,4	24,5
Creusot	36,7	67,1	15,8	15,8
Saint-Étienne . . .	28,6	52,4	17,9	22,8
Firminy	34,1	55,6	17,0	17,5

Una dimostrazione evidentissima dell'influenza della ricottura si potè avere all'acciaieria di Firminy, paragonando i risultati ottenuti sui due archi 5° ed 11°:

	Limite d'elasticità	Resistenza alla rottura	Allungamento per 100
Arco 5°	35,5	57,5	15,8
Arco 11° in media .	32,8	54,7	18,3
Id. ultimi cunei	30,3	52,6	22,3

La differenza è dovuta al fatto che, essendosi nel corso della fornitura riconosciute difettose alcune operazioni di ricottura, erasi proceduto alla costruzione d'un nuovo forno meno esposto al raffreddamento rapido.

La differenza riesce tanto più sensibile se si riguarda la media dei risultati ottenuti nelle prove relative agli ultimi cunei fabbricati.

Anche le prove all'urto hanno dato risultati migliori, e nell'arco 11°, su diciassette prove, tredici diedero il rifiuto al 21° colpo, e l'angolo medio di rottura alla pressa scese a 72°, mentre per l'arco 5° era appena arrivato a 128°.

*

Quanto infine agli spessori, dal complesso delle osservazioni devesi indurre la quasi impossibilità di arrivare ad una precisione assoluta. Ebbesi a verificare che nelle piattabande arrivavasi assai facilmente a variazioni di 4 a 5 mm. Questi divari non condussero a ricusare i pezzi, poichè quasi generalmente riscontravasi compensazione, dal punto di vista della resistenza, grazie ad un aumento nello spessore dell'anima verticale.

Onde i signori Résal ed Alby, nella loro particolareggiata Relazione inserta nelle *Annales des ponts et chaussées*, ne traggono la conclusione che il voler adottare pezzi d'acciaio fuso di spessori troppo piccoli, difficili a potersi realizzare con precisione, condurrebbe a farne aumentare il prezzo in modo notevolissimo.

La piallatura e la rettificazione delle facce di giunto, la esecuzione dei fori per le chiavarde, la montatura provvisoria dell'arco ed il finimento delle parti insieme riunite erano le operazioni successive, tra le quali è da notarsi la piallatura, come quella che più preoccupava per il tempo le officine, stante il numero limitato di macchine capaci di fare un lavoro soddisfacente su pezzi cotanto voluminosi. Onde era il tempo della piallatura quello da cui principalmente dipendevano i termini della consegna.

*

Articolazioni. — La fig. 4 della Tav. I dà sufficiente idea, tanto per il mezzo arco intermediario (parte a sinistra) quanto per il mezzo arco di fronte (parte a destra) della forma data ai cunei speciali destinati a fare da cuscinetti ai perni cilindrici costituenti la cerniera.

La fig. 11 nel testo offre due prospettive di uno di questi cunei per gli archi intermedi.

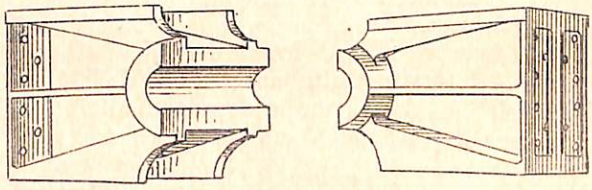


Fig. 11. — Cuscinetto alla chiave di un arco intermedio.

La piattabanda all'intrados e quella all'estrados vengono ad incurvarsi ed avvicinarsi al collarino, confondendosi colla massa metallica del medesimo. Lo spessore del collarino è di 120 mm. per quello di chiave, e di 150 per quelli d'imposta; la lunghezza è di 800 mm. per tutti.

Per evitare in elevazione lo sgradevole effetto di vedere le piattabande inflettersi ed avvicinarsi al collarino, furono desse munite di ali, di 60 mm. di spessore, il cui profilo è in prolungamento colla linea dell'intrados e dell'estrados, per appagar l'occhio.

Il cuneo alla chiave corrisponde a una divisione orizzontale della corda di m. 1,20. Quello all'imposta corrisponde ad una divisione orizzontale della corda di m. 1,80 e presenta per la lunghezza di m. 1,10 una sezione identica a quella corrente degli altri cunei componenti l'arco.

Quanto al cuscinetto di spalla contro la pietra da taglio, come fa chiaramente vedere la fig. 4, Sez. A A della Tav. I, mentre nelle vicinanze dell'articolazione si riproduce simmetricamente la disposizione del cuneo contiguo, l'allargamento poi continua verso la spalla per modo che dalla larghezza di m. 0,80 si arriva a quella di 1,30; e la faccia di appoggio contro la pietra da taglio è un quadrato di m. 1,30.

*

I cunei portanti i cuscinetti per l'arco di fronte non si allargano come quelli degli archi intermedi, onde i perni di articolazione non misurano in lunghezza che m. 0,60, che è la larghezza delle piattabande dell'arco.

La fig. 12 nel testo dà la prospettiva del cuneo per l'articolazione all'imposta, visto dalla parte esteriore; la figura 13 dà la prospettiva del cuscinetto di spalla veduto pure esternamente.

Questo cuscinetto di spalla per l'arco di fronte non differisce da quello per gli archi intermedi se non perchè è soppresso l'allargamento dalla parte interna, come chiaro ap-

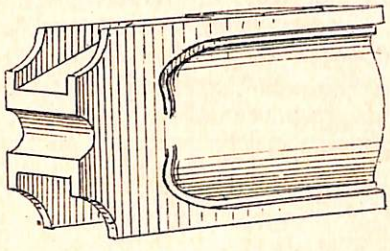


Fig. 12. — Cuneo con articolazione per l'imposta dell'arco di fronte.

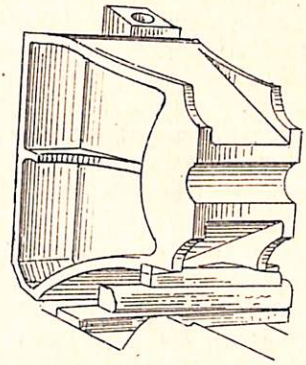


Fig. 13. — Cuscinetto di spalla per l'arco di fronte.

parisce dalla fig. 4, Sez. BB della Tav. I. Quindi la larghezza della superficie d'appoggio contro la pietra da taglio è ridotta da 1,30 a 0,95, restando di 1,30 l'altezza.

Come appare poi dalla fig. 13, il cuscinetto di spalla porta pure, venuta di fondita, la parte femmina del perno d'appoggio del primo ritto verticale, o montante che sostiene il tavolato metallico del ponte, mentre gli altri ritti vengono col loro piede a combaciare su risalti piallati sulla faccia d'estrados dei cunei dove corrispondono, e vi sono uniti per mezzo di chiavarde. Nella fig. 9 vedesi in *a* uno di questi risalti.

*

Per i perni cilindrici delle articolazioni si riconobbe la convenienza d'impiegare un acciaio di qualità superiore, che meglio assicurasse da qualsiasi difetto di omogeneità, e quindi all'acciaio semplicemente fuso e ricotto fu sostituito l'acciaio battuto quando soddisfacesse alle seguenti condizioni, cioè: per barre della lunghezza normale di 100 mm. e del diametro di mm. 13,8:

Resistenza a rottura per trazione	chg.	60	per mmq.
Limite di elasticità	»	40	»
Allungamento minimo		18	0[0;

che inoltre barre di sezione quadrata di cm. 3 di lato resistessero all'urto di quindici colpi di maglio (del peso di 18 chg.) da m. 2,75 d'altezza.

Per il metallo delle chiavarde e madreviti era stabilito che la resistenza alla rottura per trazione fosse di 38 chg. col 3 0|0 di tolleranza in più od in meno, e l'allungamento del 28 0|0.

*

Montatura degli archi. — Come già si disse parlando del ponte di servizio, la centinatura destinata a fare di armatura agli archi era divisa in tre parti; quella di mezzo era sospesa al ponte di servizio; le due laterali erano sostenute da quattro file di pali infissi nell'alveo (fig. 2); le centine riposanti su queste stilate sono in numero di 4, distanti fra loro di m. 2,857, due delle quali si trovano a perpendicolo sotto gli archi da montare. Queste centine, spinte da crik e tirate da paranchi, possono farsi strisciare sulle filagne e controfilagne dei pali, sulle quali appoggiano, per servire alla montatura di due archi per volta.

L'impalcatura sospesa per la parte centrale, è quale risulta dalle fig. 7 e 8; una serie di travi trasversali leggiere, fatte da due ferri ad C, è sospesa da una serie di sei tiranti verticali e due obliqui. Ciascun tirante può essere allungato od accorciato, essendo interrotto nel mezzo, e le teste filettate a vite in senso contrario. Questo numero, in apparenza eccessivo, di tiranti permette di sopprimerne qualcuno che venisse ad ingombrare durante la manovra dei cunei, e di ristabilirlo a manovra finita. Le travi trasversali anzidette sostengono due lungheroni a I immediatamente sotto a ciascuno dei due archi da montare.

Il peso di quest'impalcatura non è che di 500 kg. per metro lineare di ponte, onde ciascuno de' sei tiranti verticali non ha da sostenere che 300 kg. circa.

Il ponte di servizio è munito, come le stesse fig. 7 e 8 dimostrano, di due binari, sui quali scorrono dei carrelli a quattro ruote, con base d'appoggio di m. 1,80 da asse ad asse, e sono mossi da catena di trazione continua, che s'avvolge ad un verricello all'estremità del ponte, e passa all'altra estremità su di una puleggia di rinvio. Girando il

verricello a vapore in un senso o nell'altro, il carrello si avanza o retrocede.

Il movimento nel senso verticale dei cunei è ottenuto col mezzo di una fune d'acciaio, che passa (fig. 8) sulle due puleggie del carrello e porta sospesa una terza puleggia mobile, al cui asse è applicato il peso. Una delle estremità di questa fune è fissata ad un punto verso la metà del ponte, e l'altra va ad avvolgersi sul tamburo di un verricello a vapore. Gli ordini ai due verricelli a vapore sono dati col mezzo del fischietto e con fischi convenzionali.

Tralasciamo per brevità alcuni interessanti particolari di costruzione del carrello, delle puleggie a gola, che si aprono in due per ricevere ed abbracciare la fune, e così pure dell'apparecchio col quale ogni cuneo dell'arco viene afferrato e tenuto sospeso. Se ne trovano disegni e descrizione particolareggiata sulle *Annales des ponts et chaussées*, 1899, 1° trim., pag. 194-197. Per mezzo di tali disposizioni i cunei non solo vengono trasportati nel punto designato, ma possono essere presentati colla voluta inclinazione e collocati nella loro posizione precisa.

L'operazione più delicata è la posa in opera del cuscinetto di spalla, e questa veniva fatta dal capo-montatore in persona, e non è che per mezzo di non pochi tentativi e servendosi di squadre speciali nelle due direzioni, che egli riesciva a trovare la posizione esatta.

Occorreva per queste sole operazioni di verifica una giornata intera per i quattro cuscinetti di spalla dei due archi. Le manovre per la posa in opera dei cunei successivi si facevano più spedite, bastando lasciar scorrere dolcemente la faccia del cuneo da montare su quella del cuneo precedente, ed al momento in cui i fori delle chiavarde corrispondono, introdurre provvisoriamente due barre dalle estremità leggermente coniche; successivamente si sostituiscono ad esse due cilindri esattamente calibrati, per avere la coincidenza esatta dei fori, dopo di che, si introducono senza difficoltà le dodici chiavarde; infine, con biette di legno sotto il cuneo, lo si assicura per bene sull'armatura e si passa al cuneo seguente. Tutte queste manovre erano assai spedite; impiegavasi assai meno tempo a mettere a posto un cuneo che non a nettare per bene i risalti delle superficie di giunto

per far vivo il metallo e cospargerli di grasso. In due giorni si mettevano a posto i cunei di due archi dall'imposta alla chiave; ma si richiedeva poi una giornata intera per verificare le proiezioni delle articolazioni ed assicurarsi che il piano d'appoggio del cuscinetto di spalla contro la pietra da taglio fosse preciso e ad un tempo che la spinta che esso esercita fosse pressochè nulla.

Quando erasi verificato che ciò avveniva, si procedeva alla colatura del cemento liquido purissimo tra la faccia di appoggio del granito e quella del cuscinetto di spalla. La miscela del cemento con acqua potabile è operazione che va prolungata fino ad ottenere una melma liquida omogenea. Colando il cemento, l'acqua in eccesso prende ad uscire attraverso lo stoppaccio dei giunti, ovvero risale al livello superiore, e la si discaccia versando da un punto determinato nuovo cemento liquido a più riprese e per due ore dal principio dell'operazione. Dopo di che si lascia al cemento di consolidarsi, e per 48 ore si ha cura di non disturbare la presa colla minima vibrazione.

A questo proposito sono stati fatti esperimenti alla Scuola di Ponti e Strade su cilindretti di cemento colati in vasi di vetro, chiusi alla loro base da stoppaccio, e segati a diverse altezze dopo quattro giorni di presa. Ne risultò che i segmenti superiori erano più leggeri e meno resistenti; la resistenza alla rottura per schiacciamento risultò variare da 28 a 56 kg. per centimetro quadrato, mentre la carica corrispondente alla spinta dell'arco, all'atto del disarmo, non era che di 16 kg.

*

Spessori di compenso nei giunti di chiave. — Stabilita definitivamente la posizione dei cuscinetti di spalla e precisata la posizione dell'arco, si procedeva alle misure necessarie a determinare gli spessori da intercalare nei giunti di chiave.

Ammettendo che un arco il quale riposi su biette di legno portate da una piattaforma elastica, riceva su tutta la sua lunghezza reazioni uguali al peso che insiste sulle biette medesime, e che non ha quindi tendenza a deformarsi, si denotava il livello dell'asse di articolazione di chiave e la temperatura del ponte. Con questi elementi si calcolava la

distanza che sarebbe rimasta libera, supponendo il ponte ricondotto alla temperatura di 10° ed al livello che esso doveva occupare teoricamente a quella temperatura.

Il calcolo può farsi facilmente, notando che per 1° di temperatura, la metà di un arco si allunga di m. 0,00065 e la chiave si eleva di m. 0,00535. Ed essendo m. 35,79 la quota teorica sul mare dell'articolazione del ponte a 10° di temperatura, Δh, $(h - 35{,}79)$ la differenza di altezza, e Δt, $(t - 10°)$ la differenza di temperatura; e dicendo e lo spazio misurato ed E lo spessore da intercalare che si cerca, questo spessore è dato da:

$$E = e - \left(\frac{\Delta h}{0{,}00535} - \Delta t\right) 0{,}00065 \times 2.$$

Onde evitare perdite di tempo, i costruttori erano obbligati a tenere pronta nel cantiere una provvista di spessori variabili e tagliati delle dimensioni richieste, e preventivamente forati in modo da poter formare qualsiasi spessore a meno di mezzo millimetro.

Malgrado tutte le precauzioni, siccome la precisione matematica non è di questo mondo, così avvenne sempre che, misurando la distanza dei punti inferiori della superficie concava del collarino che deve ricevere il perno di articolazione sulla faccia a monte e sulla faccia a valle dell'arco, si verificava in generale un divario che oscillò da mm. 0,2 a mm. 2,5. Quest'inconveniente è stato attribuito alla quasi impossibilità di ottenere in ciascun giunto un ugual grado di serratura delle chiavarde che sono presso alla faccia inferiore appoggiata sulle biette, e di quelle che sono invece più vicine alla superficie libera. Onde per assicurarsi, malgrado tale difetto di parallelismo, del contatto perfetto dei collarini contro il perno, si rimediava alla differenza piallando, e intercalando, uno o due spessori leggermente a cuneo.

*

Disarmo di una coppia d'archi. — Per procedere al disarmo, incominciavasi dal controventare i due archi tra di loro in due modi: cioè cerchiandoli insieme con tiranti di ferro tondo, mantenuti in tensione da chiavarde ad ogni distanza orizzontale di m 3,625, perchè i due archi non scar-

tassero l'uno dall'altro; e poi sbadacchiandoli internamente con saettoni di legno di 16 cent., disposti a croci di S. Andrea, le une in piani verticali, le altre in piani paralleli alla fibra media degli archi, affinchè i due archi non si avvicinassero tra loro.

Nel giorno che precedeva il disarmo si collocavano sotto gli archi 48 binde a vite, 12 per ogni mezzo arco; era prescritto fossero munite di dinamometro, ed erano graduate fino a 16 tonnellate, essendo la loro corsa totale di 10 cent.

Per procedere al disarmo, cominciavasi dal mettere le binde sotto carico, in modo che esse accusassero presso a poco il peso corrispondente alla sezione alla quale erano applicate. Questa carica era compresa fra 5 e 6 tonn. per le binde vicine alla chiave, e fra 7 ad 8 tonn. per quelle vicine alle reni. La presenza nelle binde di molle a disco dinamometriche facilita pure assai la ripartizione dei carichi. Si tolgono in seguito le biette di legno, s'introduce il perno di chiave, sollevando il ponte, se è necessario, per facilitare l'operazione, ed operando su tutte le binde in modo da conservare a ciascuna la propria carica. Infine, si calano le binde poco alla volta, operando alternatamente su ciascuno degli archi e diminuendo la reazione prima da 5 a 4 tonn. sul primo arco, poi da 5 a 3 sul secondo; successivamente da 4 a 2 sul primo, e così di seguito.

L'operazione è compiuta in meno di due ore.

Si procede allora col livello a verificare se gli archi si trovano all'altezza voluta. In caso contrario, bisogna risollevare gli archi e cambiare gli spessori. Quest'operazione essendo occorsa per la seconda coppia di archi, non richiese più di quattro ore.

A questo proposito vuolsi notare che nel calcolo degli spessori entra la temperatura del metallo, la quale non è possibile conoscere che approssimativamente. Un errore di 2 a 3° è probabile, e la variazione corrispondente del livello alla chiave può arrivare a 15 mm.

*

Durata dei lavori per la montatura di due archi. — Il disfacimento, il trasporto e la ricostruzione dei cavalletti costituenti gli appoggi intermediari del ponte di servizio du-

rante la montatura degli archi, era pure lavoro assai lungo, che incominciava col disarmo degli archi. Vi si impiegavano in media 8 giorni, che era il tempo presso a poco necessario per la montatura, sugli archi disarmati, della soprastruttura in acciaio battuto.

In totale, il tempo impiegato per la montatura completa di un paio di archi, a partire dal giorno del disarmo del paio precedente, risultava così distribuito:

Spostamento del cavalletto d'appoggio . . .	giorni	7
Scorrimento laterale del ponte di servizio . .	»	2
Posa del cuscinetto di spalla e trasporto dei cunei componenti l'arco	»	2
Unione dei cunei	»	2
Operazioni per regolarne la posizione . . .	»	2
Fissazione del cuscinetto di spalla e controventi provvisori agli archi	»	4
Disarmo	»	1
Totale . . .	giorni	20

In realtà, tenendo conto di mezze giornate occupate nel riposo festivo, o perdute per cattivo tempo, occorsero da 22 a 25 giorni per ogni paio d'archi, facendo astrazione dal tempo più d'una volta perduto nell'attendere la provvista dei pezzi in acciaio battuto per la soprastruttura (timpani e tavolato), che sovente obbligava a sospendere il lavoro

Ad ogni modo, la regolarità e la perfetta riuscita di tutte le operazioni di montatura degli archi tornano a grande onore delle Officine del Petit Creusot, dove vennero studiati e realizzati gli apparecchi impiegati, non meno che delle 5 acciaierie le quali somministrarono i 15 archi completi.

*

Messa in opera della sovrastruttura metallica. — Col disarmo dell'arco non è ancora ultimato il ciclo delle operazioni di montatura. Ma nel tempo stesso in cui si incominciano a scomporre e trasportare i pilastrini metallici che servirono di appoggio intermediario al ponte di servizio durante la posa in opera dei cunei dell'arco, si provvede alla messa in opera dei quadri di ritegno trasversali tra i due archi o

controventi e dei lungheroni; il tutto in acciaio laminato (fig. 2 e 3 della Tav. I).

Per ridurre al minimo il peso morto, si è fatto in modo di avvicinare il più possibile la carreggiata stradale alle traverse del ponte. Queste poi si sono dovute progettare con non meno di 173 tipi; ciò ben anche a cagione dell'obliquità. Volendosi ovviare agli effetti della dilatazione nei controventi, sonosi disposte giunture elastiche mediante molle speciali, le quali agiscono solo quando le tensioni o pressioni raggiungono un limite determinato.

*

La *pavimentazione* della carreggiata è di legno, dello spessore di 12 centimetri, che è quello adottato per tutte le nuove strade della città di Parigi; il suo peso per metro quadrato, tenuto conto del grado di umidità, può essere ritenuto di 114 kg.

Il sottostrato elastico, composto di un centimetro di cemento e di 4 centimetri di asfalto, raggiunge un peso per mq. di 115 kg.

La lamiera di fondo che si appoggia sulle traverse, ha lo spessore di un centimetro ed è rinforzata ad ogni 82 centimetri da ferri ad ⊔. Compresi i coprigiunti e la chiodatura, si ha un peso totale per m. q. di 100 kg.

Onde il peso della *carreggiata* del ponte deve ritenersi in cifra tonda di 330 kg. per metro quadrato.

Per i *marciapiedi*, avendosi uno spessore di 15 centimetri di asfalto del peso per metro quadrato di 37 kg., uno spessore di cemento di 6 centimetri, del peso per metro quadrato di 138 kg.; ed infine una lamiera sottostante di 8 centimetri rinforzata con ferri Zorès a m. 1,94 di distanza, ed in tutto del peso di 108 kg. per metro quadrato, ne segue che il peso totale della pavimentazione per i marciapiedi è di 283 kg. per metro quadrato.

*

Prove di resistenza, ed osservazioni sulle deformazioni elastiche e permanenti. — Il ponte Alessandro III è stato oggetto per un certo tempo di osservazioni aventi per iscopo di conoscere come esso comportavasi sotto l'azione delle

variazioni della temperatura e dei sovraccarichi. I risultati di queste osservazioni troviamo esposti nell'ultimo fascicolo delle *Annales des ponts et chaussées* (1900, 1° trimestre), e qui brevemente li riassumiamo.

Gli effetti della temperatura erano stati osservati nei brevi periodi in cui i carichi sul ponte potevano essere considerati come costanti; ed i risultati così ottenuti dovevano servire, durante le prove di peso morto, a scindere dai risultati complessivi, dovuti agli effetti combinati della temperatura e dei sovraccarichi, la parte dovuta all'una ed all'altra causa.

Così, una prima serie di osservazioni fu fatta in dicembre 1898 e gennaio 1899 sulle prime coppie di archi montati, quando il lavoro era rimasto forzatamente stazionario per parecchi giorni in attesa dell'arrivo dei ferri per il seguito delle operazioni di montatura. Trovandosi pertanto tali archi come immersi da tutte le faccie nell'atmosfera, era da supporsi che si sarebbero posti prontamente in equilibrio colla temperatura della medesima. E tant'è che i risultati delle operazioni concordarono pienamente con quelli somministrati dal calcolo.

Ma quando sugli archi venivasi a montare la soprastruttura ed il tavolato, gli archi non si potevano più considerare come assolutamente immersi nell'aria-ambiente ed in equilibrio di temperatura con essa. La conoscenza esatta della temperatura dell'arco cominciava a divenire un problema assai delicato. L'influenza termica dello specchio d'acqua sottostante e del tavolato superiore era inevitabile. E tali influenze variavano da un arco all'altro a seconda della loro distanza dalla fronte, e da una sezione all'altra di uno stesso arco a seconda che il metallo era più vicino all'acqua od al tavolato. Anche la direzione del vento concorreva spesso a complicare il fenomeno. L'influenza del tavolato ebbe poi da accentuarsi maggiormente a misura che venivano ad aggiungersi materie cattive conduttrici del calore, quali l'asfalto, la pavimentazione di legno e la sabbia stessa che facevasi servire da peso morto durante le prove.

Tutte queste cause, all'infuori del vento, vogliono essere considerate come ritardatrici nel ristabilire l'equilibrio della temperatura tra il metallo dell'arco e l'aria dell'ambiente. Invece il vento ed il sole esercitano in modo particolare la

loro influenza sugli archi di fronte, i cui movimenti assumono pertanto ampiezze maggiori ed in nessun rapporto con quelle degli archi intermedi.

Ond'è che prima ancora di addivenire alle prove, e più precisamente dalle osservazioni fatte dal 7 all'11 dicembre 1899, si dovette constatare che, finito il tavolato, l'ampiezza delle oscillazioni alla chiave, per effetto delle variazioni di temperatura, non era più conforme alla previsione suggerita dal calcolo, ma era ad essa notevolmente inferiore, di ben 4 mm. per ogni grado di temperatura.

E poichè dalle osservazioni precedenti risultava che l'effetto della dilatazione non scostavasi da quello teorico finchè la sovrastruttura metallica del ponte rimaneva scoperta, era certo che dovevasi attribuire la diminuzione del movimento alla chiave allo strato d'asfalto ed al pavimento di legno, e non ad altre cause.

Un fenomeno analogo era stato osservato al ponte Mirabeau, dove la deformazione teorica per effetto delle variazioni di temperatura risultò differire dalla reale di più di 1 millimetro per grado di temperatura.

*

Le osservazioni relative agli effetti dei sovraccarichi sul ponte dovevano essere di due specie: quelle di peso morto, le quali si fecero realmente all'epoca delle prove di collaudo regolamentari; e quelle dei carichi scorrevoli, le quali non si sono fatte ancora, stante lo stato attuale dei terrapieni nelle vicinanze della spalla di destra che non permetterebbero di procedere alle prove con pesi scorrevoli (1).

Per le prove regolamentari a peso morto erano prescritte tre combinazioni di sovraccarichi:

1ª La metà del ponte doveva restare coperta di sabbia in ragione di 400 kg. per metro quadrato, e poichè i mar-

---

(1) Per le prove di peso scorrevole dovevasi far passeggiare il rullo compressore n. 1 della città di Parigi, il quale ha una base di ruote di m. 4,20, essendo caricate quelle anteriori dal peso di kg. 11 334 e le posteriori dal peso di kg. 20 666; i centri di gravità delle due ruote anteriori distano fra loro di m. 0,810, quelli delle ruote posteriori di m. 2,110.

ciapiedi non erano ultimati, il sovraccarico per essi doveva essere aumentato di 150 kg. per m. q.;

2ª Il ponte in tutta la sua lunghezza doveva sottostare al sovraccarico suddetto;

3ª Doveva sovraccaricarsi la sola parte di mezzo del ponte. In quest'ultima prova, che dal punto di vista della deformazione era la più rigorosa, si fece a meno della zavorra supplementare di 150 kg. sui marciapiedi per non affaticare inutilmente il ponte.

Per ottenere il sovraccarico regolamentare di 400 kg. per metro quadrato, fu disteso uno strato di sabbia asciutta, dello spessore di 25 cent. sulla carreggiata e di 35 cent. sui marciapiedi per tener conto del peso dei parapetti.

I risultati delle tre prove sucennate sono riportati nel seguente quadro:

Deformazione:		Prima prova		Seconda prova		Terza prova		Permanente
		calcolata	osservata	calcolata	osservata	calcolata	osservata	
Alla chiave . . .	marciapiedi .	41	45,3	82	66,5	104	88	24
	carreggiata .	34	40,5	68	67	119	109	32
	complessiva .	38	43	76	66,6	111	98	27,5
Alle reni (riva destra)	marciapiedi .	0,139	87,5	37	37	8,3	27,5	7
	carreggiata .	0,116	91,7	30,5	43	9,5	31	7
	complessiva .	0,129	89,5	34	40	9	29	7
Alle reni (riva sinistra)	marciapiedi .	— 104	— 37	37	35	8,3	39,5	2
	carreggiata .	— 86	— 43	30,5	32	9,5	37	— 1
	complessiva .	— 95	— 40	34	33,5	9	38	0,5

Qualunque sia la prova che si consideri, od il valore degli abbassamenti o dei rialzi constatati, devesi notare che in ogni mezzo arco del ponte l'asse longitudinale ha meno scartato dalla sua curva iniziale di quello che la teoria facesse prevedere. Il quale fenomeno trova la sua spiegazione naturale nella rigidità del tavolato, che, concorrendo coll'arco a resistere agli sforzi di flessione, ne diminuisce l'effetto, ed attenua per conseguenza la deformazione dell'arco in maniera apprezzabile. Ed il fenomeno è conosciutissimo in quanto osservasi in tutti i ponti, nei quali il tavolato ha una rigidità propria, quando di tale circostanza non si è tenuto conto nel calcolo dell'ossatura.

Vedesi pure d'altronde dalle cifre surriportate che gli archi sotto i marciapiedi, i cui lungheroni sono di maggiore altezza, si sono meno inflessi degli archi sotto la carreggiata.

La deformazione permanente osservata alla fine delle prove e che ha dovuto prodursi progressivamente dopo ciascuna di esse, affetterebbe i risultati di osservazione di ciascuna prova di un errore che non potrebbe essere determinato esattamente. Ad ogni modo, ove la correzione fosse possibile, le deformazioni corrispondenti avrebbero un'ampiezza naturalmente inferiore a quella indicata dal calcolo.

La deformazione permanente si manifestò con un abbassamento alla chiave di mm. 27,5 in media, e con un abbassamento relativamente minimo alle reni di riva destra e trascurabile affatto alle reni di riva sinistra.

Se ne può ritrovare la causa e nella contrazione dei giunti e nella plasticità della pavimentazione di legno ed asfalto.

L'influenza della plasticità del pavimento, che fu pure rilevata nelle deformazioni dovute alle sole variazioni termiche dell'arco, è messa nettamente in evidenza dalle differenze sensibilissime della deformazione permanente alla chiave degli archi sotto carreggiata e degli archi sotto i marciapiedi, i primi avendo accusato una deformazione permanente notevolmente maggiore.

La contrazione dei giunti era già stata osservata al momento del disarmo; e ne erano prova i trasudamenti d'olio rimasto fra le superficie di giunto dopo serrate le chiavarde. La pressione mutua dei conci determinava l'appiattimento delle minime asprezze delle superficie piallate ed il loro av-

vicinamento. Or questo fenomeno, incominciato col disarmo, ha dovuto seguitare a misura che la pressione andava elevandosi, come si verificò durante le prove, da 5 a 10 kg. per mm. quadrato.

Ad un ravvicinamento di un decimo di mm. per giunto corrisponde un abbassamento di 13 mm. alla chiave e di mm. 6,5 alle reni.

L'abbassamento totale della chiave del ponte è stato sulla media degli archi di meno di 57 mm. per effetto del disarmo, e di 188 mm. per effetto del carico permanente e del sovraccarico completo.

Paragonando quest'ultimo abbassamento a quello somministrato dal calcolo di 202 mm. partendo da un coefficiente d'elasticità eguale a 16×10^9, si potrebbe concludere che il coefficiente di elasticità applicabile al ponte Alessandro III sarebbe $17{,}2 \times 10^9$.

Con appositi livelli si è pure accertato che durante le prove il livello dei punti di articolazione all'imposta non aveva variato, e che i cuscinetti di spalla non avevano subìto movimenti apprezzabili.

PARTE V.

Decorazione architettonica monumentale del ponte.

Sulla ossatura d'acciaio del ponte e su quella murale delle sue spalle spettava agli architetti Cassien-Bernard e Cousin (1) di progettare una decorazione che bene armonizzasse colle grandi e severe linee della costruzione metallica

(1) Il signor Cassien-Bernard, che successe a Ch. Garnier quale architetto dell'Opéra, è un lavoratore indefesso, di molta erudizione e di pari audacia nelle sue concezioni, onde è reputato in Francia tra i più grandi artisti contemporanei. Insieme al Cousin, giovane, ma degnissimo suo collaboratore, aveva preparato un progetto per il piccolo Palazzo, che la Giuria, pure preferendo il progetto Gérault, aveva molto apprezzato. Epperò i signori Cassien-Bernard e Cousin ebbero, a titolo di compenso, il difficile ed importante incarico di studiare la decorazione del ponte Alessandro III.

e cogli antichi murazzi del lungo Senna, e nel tempo stesso rivestisse il carattere di un'opera monumentale, tale da prendere il suo posto nella storia mondiale dell'arte e da tramandare degnamente ai posteri il ricordo dell'Esposizione universale del 1900.

Non fu che dopo lunghi studi e molteplici tentativi che i signori Cassien-Bernard e Cousin riuscirono a fare del ponte dei signori Alby e Résal, un'opera d'arte veramente squisita che ha riscosso l'ammirazione ed il plauso di tutti gli artisti del mondo, dove non si saprebbe se più lodare l'estetica perfezione di ogni più minuto particolare o la mirabile armonia che lega insieme l'ampiezza delle linee e il fasto insuperato dell'ornamentazione. Tant'è che vi è stato fra noi un critico distinto il quale argutamente scrisse che *la Repubblica Francese aveva con questo ponte compiuto un'opera imperiale.*

Nell'esame forzatamente sommario che ci proponiamo di fare, coll'aiuto della Tav. II e della fig. 14 nel testo, dei motivi della decorazione del ponte Alessandro III, distingueremo tre parti principali, ossia: la parte metallica dell'arco, le spalle murali del ponte e la parte superiore veramente monumentale de' suoi accessi.

*

Decorazione della parte metallica del ponte. — Il problema di lasciare apparenti le grandi linee della costruzione, e di trovare nel medesimo tempo un motivo ornamentale nuovo o quanto meno adatto alla circostanza, non era facile, e l'abilità colla quale è stato svolto il programma della decorazione rivela nel suo più alto grado il genio artistico dei loro autori.

La ornamentazione del ponte fu studiata nello stile di Luigi XIV. A quel tempo la mitologia greco-romana era di prammatica in tutte le arti.

Perciò anche nell'ornamentazione dell'arco predominano elementi fluviatici o marini; alghe e fiori lacustri, coralli, conchiglie e simili si chiamarono ad adornare il ferro, che venne dipinto in grigio chiaro. E tutto ciò senza togliere nulla alla sveltezza che è propria della struttura metallica. Che anzi l'arco rimane segnato netto colle sue linee di in-

Fig. 14. — Il Ponte Alessandro III — Prospettiva dalla sponda sinistra verso i Campi Elisi

trados e di estrados, che ne mostrano il magistero e l'arditezza, ed appena un fregio ondulato di poco rilievo dello stesso colore grigio con qualche leggera doratura, serpeggia sulla superficie convessa dell'anima centrale per tutto lo sviluppo dell'arco dall'imposta alla chiave.

Le tre cerniere, alla chiave ed alle imposte, sono state anch'esse distinte, quali punti principali della costruzione, da un riccio marino contornato da una stella di mare.

La cornice di coronamento del ponte, la cui linea superiore segna il livello del marciapiede (fig. 2 e 3 della Tav. I), ricorre sopra di un timpano (fig. 3 della Tav. II) costituito da una serie di archi ellittici sostenuti da pilastrini o montanti, i quali appoggiano direttamente sull'arco. Una ricca ghirlanda a festoni, che scende nel vuoto degli archi ellittici suddetti, ricorre per la maggior parte della lunghezza del ponte, accavalciandosi nei punti d'appoggio superiori ad un mascherone o ad una rosetta alternativamente; questa ghirlanda viene a mancare soltanto nella parte centrale, in cui la linea di estrados dell'arco passa tangente alla base della cornice. Onde i festoni, avvicinandosi alla parte centrale, si trasformano e vengono insensibilmente perdendosi nell'assecondare la forma generale dei timpani, che vanno assottigliandosi e riducendosi a poco più di una linea geometrica nelle vicinanze del giunto di chiave.

La ghirlanda fu modellata sui disegni dei signori Cassien-Bernard e Cousin nello studio di plastica del signor Abel Paulin, il cui genio artistico è stato soventi volte messo a prova in tutti i più minuti particolari dell'ornamentazione. E molti elogi invero sono stati fatti al signor Paulin per la fantasia, varietà e novità di partiti decorativi, applicati come nel fregio dell'arco, così nei festoni e nei capitelli dei montanti, i quali hanno per volute due conchiglie a spirale formanti cornucopie da cui escono frutti dorati.

Il parapetto del ponte, costituito da colonnine o balaustri, anch'essi resi più eleganti con qualche doratura, trovasi interrotto, in corrispondenza dell'asse dei montanti del timpano, alternatamente da un riquadro e dal piedestallo di un lampadario elettrico a tre braccia. Cosicchè questi lampadari riescono distribuiti lungo il parapetto alla vicinissima distanza di m. 7,25 l'uno dall'altro, corrispondente a due

degli interassi fra i montanti del timpano. Questi lampadari, di cui la fig. 11 della Tav. II offre un particolare, come pure il corrimano del parapetto, sono fusi in bronzo.

Sopra la chiave dell'arco, dalle due fronti, il parapetto del ponte porta come decorazione esterna un colossale gruppo allegorico di rame martellato della totale lunghezza di 9 m.; un grande stemma dorato fiancheggiato da due naiadi ignude che accarezzate da pesci, sorrette da un timone o dal remo e cogli otri, da cui scaturiscono le onde, debbono personificare la Senna e la Neva (fig. 12, Tav. I); pregevole composizione dello scultore Récipon, al quale erano state pure allogate le quadriglie di coronamento del grande Palazzo. In una fronte campeggia lo stemma della città di Parigi, nell'altra lo stemma moscovita. Trattandosi di un'opera intitolata ad Alessandro III, della quale erasi fatta la posa della prima pietra il 7 ottobre 1896 con cerimonia solenne dallo Czar di Russia, Nicola II, era ben naturale che il ponte portasse alla sua sommità un documento che ricordasse ai posteri l'alleanza franco russa, che veniva con quell'atto suggellata.

Contro il parapetto, e precisamente sulle verticali segnate dall'asse delle cerniere d'imposta (fig. 2 e 3della Tav. II), quasi a limitare le due estremità del ponte, ma essenzialmente per coprire la interruzione del timpano, è stato aggiunto un grande cartoccio, esso pure in rame martellato. Tutti questi lavori sono stati eseguiti sotto la direzione del signor Monduit, dalla Ditta Pérignon, Vinet e Comp., alla quale è pure dovuta l'esecuzione in rame martellato delle opere d'arte le più colossali, come la fontana monumentale di Lione, la ricostruzione della colonna Vendôme e la statua colossale dell'Indipendenza degli Stati Uniti d'America.

I colonnini del parapetto, la cornice del ponte, le ghirlande dei timpani ed i montanti sono stati fusi in ghisa dalla Società degli Stabilimenti Durenne, aventi la specialità dei lavori in ghisa decorativa.

I lampadari in bronzo sul parapetto vennero aggiudicati ai fratelli Lacarrière.

*

Decorazione architettonica delle spalle. — Per il rivestimento delle murature grezze costituenti gli spalloni del ponte al di sopra delle basse banchine, erasi stabilito di comune accordo fra gli ingegneri e gli architetti del ponte di adoperare il granito dei Vosgi. La pietra da taglio granitica colla quale venne apparecchiato il masso per il piano d'imposta dell'arco metallico (fig. 1, Tav. I) ed il rivestimento degli spalloni dalla risega di fondazione fino al piano delle basse banchine, era stata precedentemente aggiudicata alla Ditta Frèrejean e Vautrin, e proveniva dalle cave di Saint-Stails, presso la frontiera, e da queste cave furono pure tratte le pietre per il rivestimento di tutta la spalla fino al cornicione e questo compreso.

Le fig. 1 e 2 della Tav. II, e la fig. 14 nel testo meglio di qualsiasi descrizione, rappresentano in pianta, in elevazione ed in prospettiva, riprodotta da fotografia, il modo ingegnoso e movimentato con cui vennero insieme collegati il gran voltone di sottopassaggio della via che seconda la riva del fiume, il sottobasamento dei grandiosi quattro piloni decorativi, destinati a rendere monumentali gli accessi del ponte, ed infine il grandioso scalone di discesa dal piano del ponte a quello delle basse banchine, riunito al sottobasamento predetto con un grazioso voltone che gira di un quarto di cerchio per sostenere il parapetto in curva del terrazzo superiore.

Il grosso bugnato, che costituisce il rivestimento delle murature, dà l'impressione imponente della massa e della stabilità dell'opera.

Ai fianchi dell'imposta dell'arco, contro il pilastro che fa da spalla al voltone di passaggio alla strada delle basse banchine, sorge un grosso delfino (fig. 2 della Tav. I), che posa la testa su di un basamento di sezione circolare, ed arriva, colla coda drizzata, fin sotto al cornicione del ponte. Il grosso delfino è scolpito nella stessa pietra granitica del paramento, e serve come di passaggio dalla massa murale alla parte metallica del ponte.

*

Dec razione monumentale degli accessi. — Due piloni per parte, occupanti in base un'area di m. 3,50 × 5 ed ele-

vantisi a 18 metri d'altezza, costituiscono il motivo principale dell'ornamentazione monumentale degli accessi del ponte. La fig. 14 nel testo ce li fa vedere a loro posto in prospettiva. I particolari architettonici trovansi abbastanza delineati nella fig. 2 della Tavola II. Delle sculture, oltre la figura predetta, ci dànno pure sufficiente idea le fig. 4 a 7 e la 10 della medesima Tavola.

I piloni sono costituiti da un massiccio di sezione quadrata e da quattro colonne agli angoli, con capitello dorico. Una ricca trabeazione, con fregio a fogliami, sorregge un gruppo allegorico in bronzo dorato, di 5 metri d'altezza. Questi quattro gruppi, di forma squisita ed elegante, e di forma molto più spigliata che dal disegno possa apparire, rappresentano ciascuno un cavallo alato condotto da una Fama. Così sulla spalla destra del ponte abbiamo le due Fame, quella delle arti e quella delle scienze, modellate dal celebre Frémiet; sulla spalla sinistra la Fama del commercio, del Granet, e quella delle industrie, dello Steiner.

Nella parte anteriore del basamento dei quattro piloni sono quattro grandi statue sedute, scolpite in pietra, con fregi in bronzo, destinate a rappresentare la Francia nelle sue quattro epoche più memorabili. Guardano il corso della Regina la Francia romana o di Carlomagno (fig. 4), dello scultore Alfredo Lenoir, e la Francia dell'epoca moderna (fig. 5), dello scultore Michel. Sulla spalla sinistra guardano l'*Hôtel* degli Invalidi la Francia del Rinascimento (fig. 7), dello scultore Coutan, e la Francia di Luigi XIV (fig. 6), dello scultore Marquesne.

Le imboccature agli scaloni per scendere sul *quai* sono fiancheggiate, dalla parte verso il fiume (fig. 2), da vasi di marmo bianco con ghirlande e fogliami, e dall'altra parte dal gruppo colossale di un leone guidato da un genio, che nella fig. 2 riesce coperto dall'obelisco coi lampioni, ma del quale rimane bene precisata la posizione sulla planimetria (fig. 1 della Tav. II) e la forma nella prospettiva della fig. 14 nel testo. I quattro leoni uscirono dallo studio degli scultori Dalou e Gardet.

A metà del parapetto che insiste sul voltone di sottopassaggio alla via del *quai*, vi sono graziosissimi genii con attributi nautici (fig. 2, 8 e 9), scolpiti da Massoule e Morice.

Una corona di putti genialissimi attornia la base dei grandi lampadari con cinque lanterne elettriche (fig. 2 e 11), posti alle estremità verso l'arco delle spalle murali, veri capolavori di artistica eleganza del Gauquié.

Infine, quattro grandi obelischi del medesimo granito, ma lucido, muniti alla base di quattro lampadari e collocati all'estremità del parapetto del muro contro terra che fiancheggia gli scaloni, completano l'enumerazione delle parti architettoniche e decorative degli accessi monumentali del ponte.

I quattro piloni e le quattro statue della Francia sono in pietra calcare di Chauvigny, ad eccezione dello zoccolo di base a livello dei marciapiedi, che, al pari dei parapetti sopra le spalle e di quelli per gli scaloni, sono in pietra da taglio delle cave dell'Echaillon (Isère).

*

Il costo del ponte. — Ancora non conosciamo il consuntivo della spesa; ma si sapeva che il ponte Alessandro III avrebbe costato, in parte allo Stato ed in parte alla ferrovia dell'Ovest, che votò il proprio concorso nell'interesse della nuova stazione degli Invalidi, la bella somma di 6 milioni. In questi 6 milioni la decorazione architettonica non entrerebbe che per un milione solo. Ed anche questa spesa non è straordinaria, avuto riguardo al gran numero di gruppi di scultura e di decorazioni che lo abbelliscono.

Certamente non mancano altri ponti egualmente ed anche più colossali, i quali hanno costato meno. Ma è fuori dubbio che il ponte Alessandro III, e dal punto di vista della scienza delle costruzioni e da quello non meno importante dell'arte moderna, vale assai più di quanto può avere costato, ed i lettori ci sapranno, speriamo, buon grado di avere sommariamente esposto tutti i dati tecnici e gli accorgimenti di costruzione che dalle molteplici e sparse Memorie, a diverse riprese pubblicate durante l'esecuzione dei lavori, ci fu dato raccogliere.

AMM. PROV. DI TORINO
№ 15657
BIBLIOTECA
115533

Fig. 1. — Sezione longitudinale del ponte.

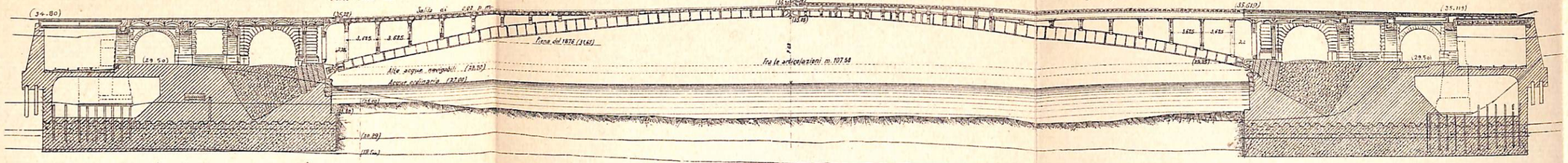


Fig. 2. — Metà sezione trasversale presso l'imposta

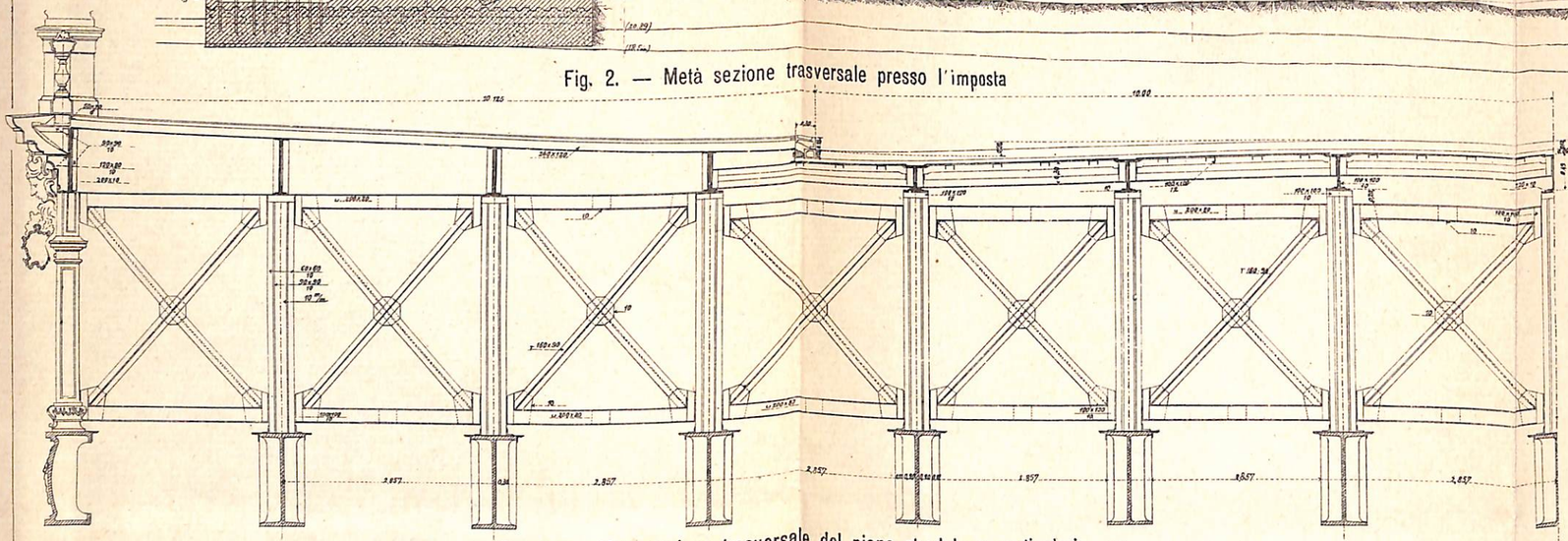
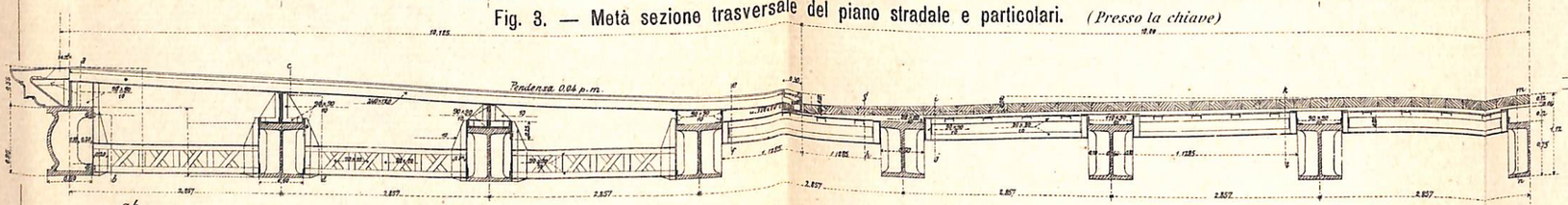


Fig. 3. — Metà sezione trasversale del piano stradale e particolari. *(Presso la chiave)*



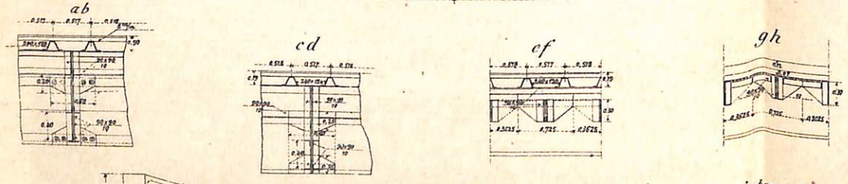


Fig. 4. — Particolari delle articolazioni.

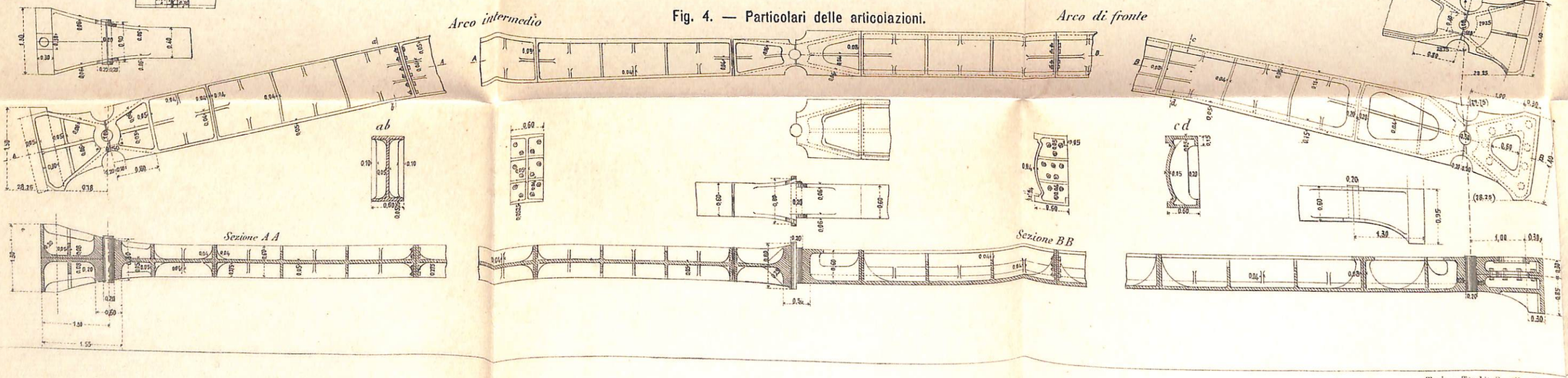


Fig. 5. — Pianta di una spalla ad opera finita.

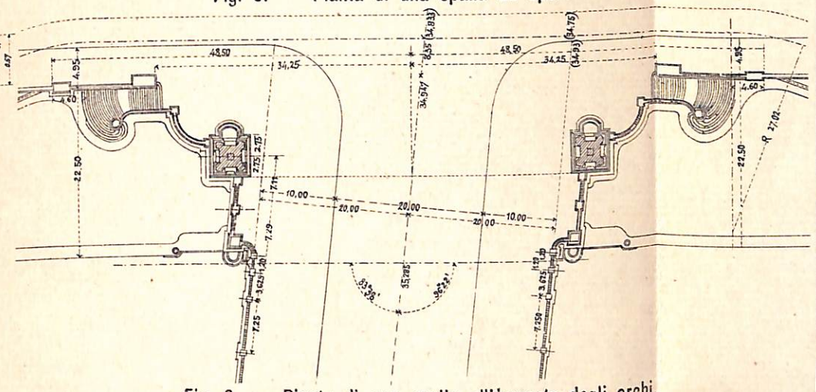
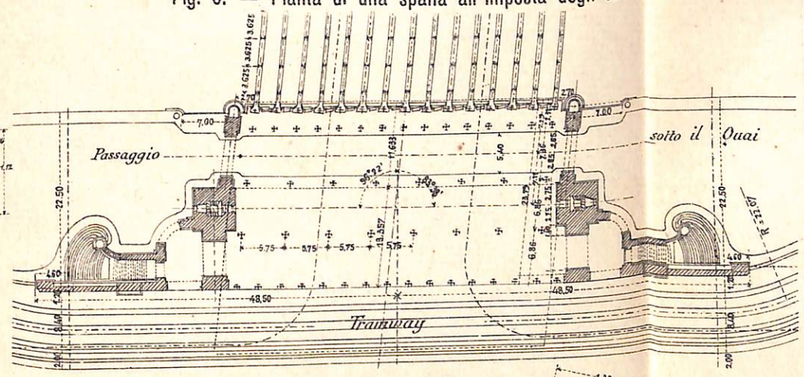


Fig. 6. — Pianta di una spalla all'imposta degli archi.



PONTE ALESSANDRO III SULLA SENNA A PARIGI (Ing.ri Résal e Alby). Tav. I.

Torino Tip.-Lit. Camilla e Bertolero di N. Bertolero, editore

ARCHIVE OF TRAINING

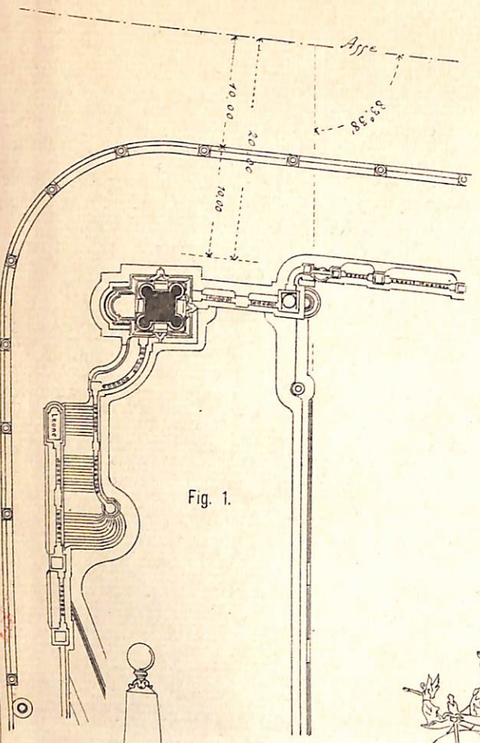


Fig. 1.

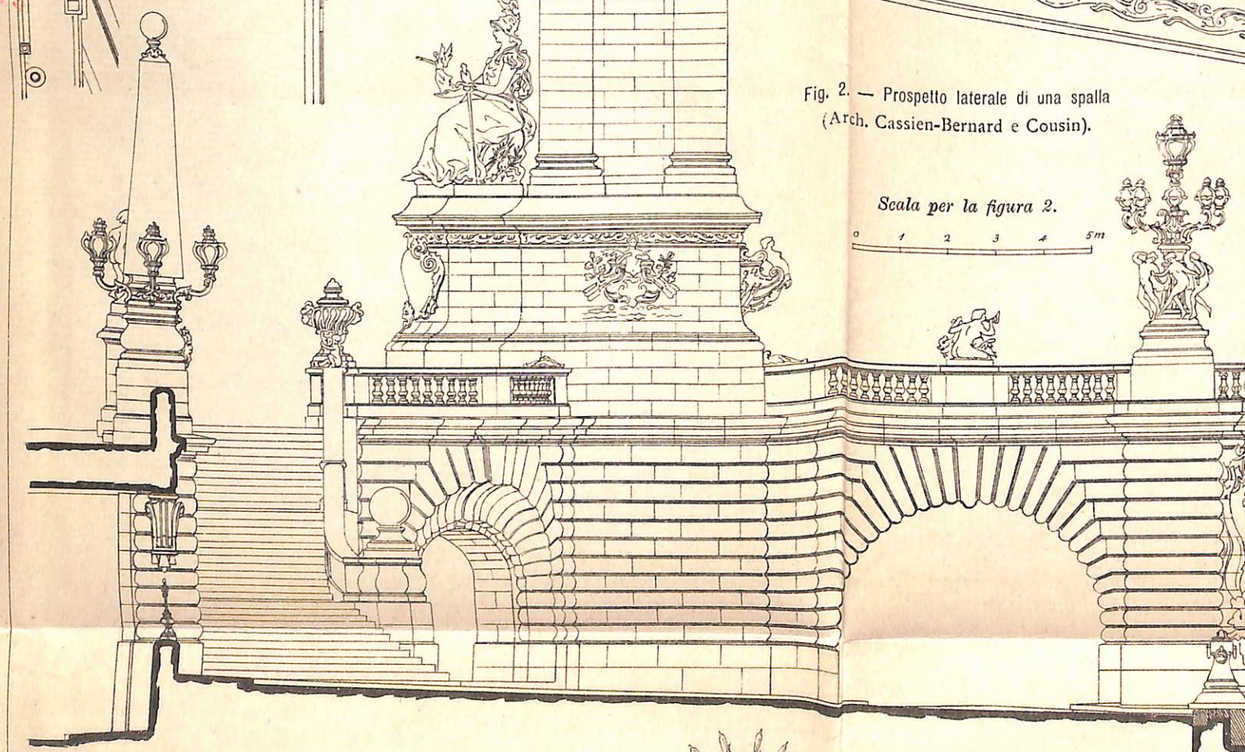


Fig. 1. — Imboccatura del ponte: metà pianta ad opera finita (lato degli Invalidi).

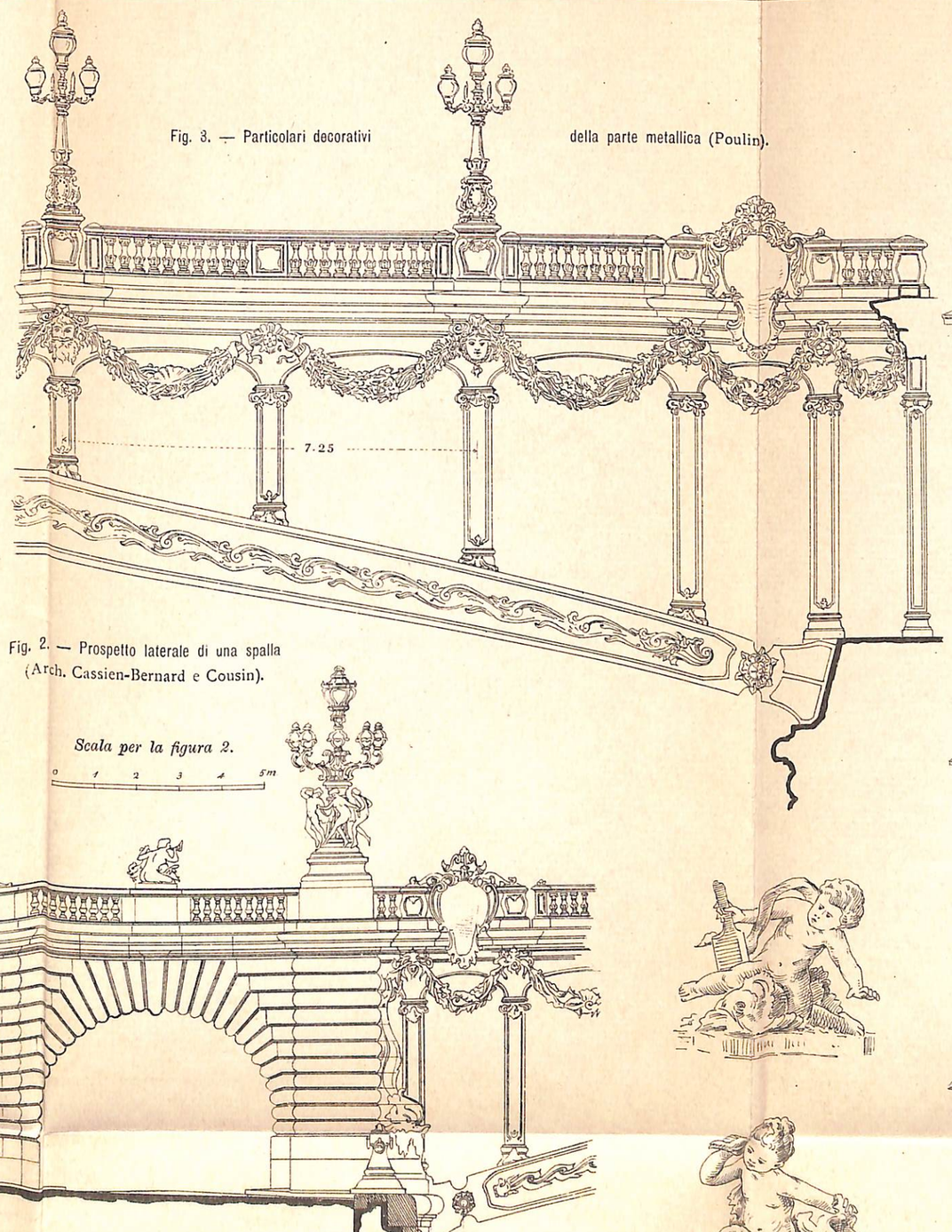


Fig. 2. — Prospetto laterale di una spalla (Arch. Cassien-Bernard e Cousin).

Scala per la figura 2.

0 1 2 3 4 5m

Fig. 3. — Particolari decorativi della parte metallica (Poulin).

Fig. 12. — Stemma alla chiave dell'arco (Récipon).

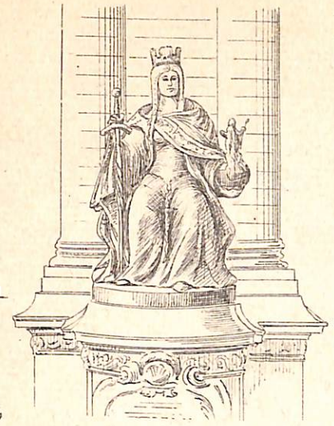


Fig. 4. — La Francia romana (Lenoir).

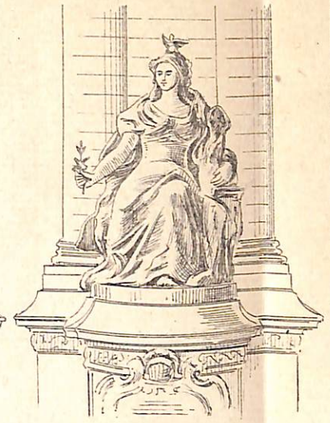


Fig. 5. — La Francia contemporanea (Michel).

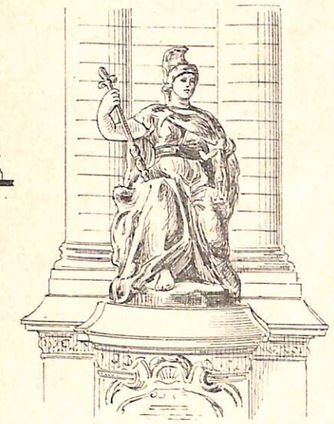


Fig. 6. — La Francia di Luigi XIV (Marqueste).

Fig. 7. — La Francia del rinascimento (Coutan).

Fig. 8 e 9.
Putti sul parapetto delle spalle (Massoule e Morice).

Fig. 10.
Pegaso e fama di coronamento sui piloni (Frémiet, Steiner e Granet).

Fig. 11. — Lampadario sulle spalle (Gauquié).

Torino, Tip-Lit. Camilla e Bertolero di N. Bertolero

PONTE ALESSANDRO III SULLA SENNA A PARIGI (Tav II) — Particolari.

PROVINCIA DI TORINO

TORINO - TIP. LIT. CAMILLA E BERTOLERO - TORINO

ANNO XXVI — 1900

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO QUINDICINALE

DIRETTO

dall'Ing. Comm. GIOVANNI SACHERI

CON UN'ELETTA D'INGEGNERI E INDUSTRIALI ITALIANI E STRANIERI

Contiene le seguenti rubriche: *Architettura civile - Costruzioni stradali ed idrauliche - Geometria pratica e strumenti di osservazione - Meccanica applicata e resistenza dei materiali - Idraulica pratica - Macchine a vapore e ferrovie - Industrie meccaniche - Fisica tecnologica - Chimica industriale ed agraria - Questioni economiche - Bibliografia - Necrologie, ecc.*, **e pubblica nell'annata 1900 una diffusa RIVISTA dell'Esposizione Universale di Parigi.**

Abbonamento annuo: Lire 20 - Per l'Estero (Unione postale) Lire 23.

RIVISTA TECNICA

DELLA

ESPOSIZIONE GENERALE ITALIANA, TORINO 1898

DIRETTORE

Ing. Comm. GIOVANNI SACHERI

Vol. di 228 pag., con 312 fig. nel testo e 18 Tavole

INDICE.

I. Le prime questioni tecniche ed economiche per la migliore ubicazione. — II. Per la scelta dell'Architetto-Direttore dei lavori dell'Esposizione. — III. Per lo studio del progetto. — IV. Per l'appalto delle opere (G. SACHERI) (*Con 98 figure nel testo*). — V. I generatori del vapore: 1. Caldaie in azione: L'impianto Tosi; Caldaie della Società di Costruzioni meccaniche di Saronno. - 2. Caldaie esposte, ma non in azione: La Ditta A. Calzoni, di Bologna; La Ditta G. Ansaldo e C., di Sampierdarena; La Ditta Pattison, di Napoli (Ing. GIACOMO VOTTERO) (*Con 18 figure nel testo*). — VI. Le motrici a vapore: Ditta Franco Tosi, di Legnano; Ditta Neville e C., di Venezia; C. T. e T. Pattison, di Napoli; Il motorino Campus (Ing. MODESTO PANETTI) (*Con 14 figure nel testo*). — VII. Le motrici a gas: Ditte: Langen e Wolf, di Milano; Carrera Luigi, di Torino; Ing. Egidio Garuffa, di Milano; Ing. Augusto Stigler, di Milano; Fratelli Prata e Ing. Nobili, di Torino; signor Restelli, Motrici del Prof. Bernardi (Ing. MODESTO PANETTI) (*Con 18 figure nel testo*). — VIII. L'Esposizione Internazionale di Elettricità (Ing. MODESTO PANETTI) (*Con 42 figure nel testo*). — IX. Gli edifizi per le Missioni Cattoliche (Prof. A. FRIZZI) (*Con 10 figure nel testo*). — X. I servizi dell'acqua, del gas e del vapore (Ing. CARLO GIOVARA) (*Con 8 figure nel testo*). — XI. La Fontana monumentale e le sue decorazioni (Prof. A. FRIZZI) (*Con 14 figure nel testo*). — XII. La Mostra medioevale pugliese (Prof. MARIO TAMAGNO). — XIII. Le turbine ed i loro regolatori (Ing. Professore SCIPIONE CAPPA) (*Con 78 figure nel testo*). — XIV. Edifizi secondari e padiglioni isolati dell'Esposizione (Ing. G. SACHERI) (*Con 12 figure nel testo*). — XV. Il resoconto finale ed il successo finanziario dell'Esposizione (G. SACHERI).

L'Opera contiene 312 figure nel testo oltre alle seguenti Tavole:

I. Planimetria generale. — II. Salone dei Concerti. Prospettiva esterna. — III. Salone dei Concerti. Interno. — IV. Ingresso principale. Prospettiva a volo d'uccello eseguita sui disegni di massima. — V. Ingresso principale. — VI. Salone ottagono. — VII. Galleria della locomozione. — VIII. Gallerie per la Guerra e la Marina. — IX. Facciata tripla. — X. La motrice Neville di 500 cavalli nella Galleria del Lavoro. — XI. Galleria delle Industrie meccaniche e del Lavoro. — XII. La motrice Tosi di 400 cavalli nella Galleria dell'Elettricità. — XIII. Gli edifizi per le Missioni Cattoliche (Terra Santa, Impero Ottomano, Asia, America). — XIV. Gli edifizi per le Missioni Cattoliche. Interni. — XV-XVI. Saggio della Mostra medioevale delle Puglie. — XVII. Turbina a reazione, assiale, con nuovo regolatore servo-motore, della Ditta Schlaepfer. — XVIII. Padiglione moresco della Ditta Talmone.

Prezzo dell'Opera completa: *Lire DODICI.*